Codium fragile ssp. *tomentosoides* : revue de littérature et situation aux Îles-de-la-Madeleine

Nathalie Simard, Nathalie Paille et Chris W. McKindsey

Direction régionale des sciences
Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
850, route de la Mer
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

2007

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2786

Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada

Canada

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports manuscrits contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui traitent de problèmes nationaux ou régionaux. La distribution en est limitée aux organismes et aux personnes de régions particulières du Canada. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des Pêches et des Océans, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports manuscrits peuvent être cités comme des publications intégrales. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports manuscrits sont indexés dans la base de données *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Les numéros 1 à 900 de cette série ont été publiés à titre de manuscrits (série biologique) de l'Office de biologie du Canada, et après le changement de la désignation de cet organisme par décret du Parlement, en 1937, ont été classés comme manuscrits (série biologique) de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 901 à 1425 ont été publiés à titre de rapports manuscrits de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 1426 à 1550 sont parus à titre de rapports manuscrits du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 1551.

Les rapports manuscrits sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement d'origine dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Manuscript reports contain scientific and technical information that contribute to existing knowledge but that deal with national or regional problems. Distribution is restricted to institutions or individuals located in particular regions of Canada. However, no restriction is placed on subject matter, and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries and aquatic sciences.

Manuscript reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is indexed in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Numbers 1-900 in this series were issued as Manuscript Reports (Biological Series) of the Biological Board of Canada, and subsequent to 1937 when the name of the Board was changed by Act of Parliament, as Manuscript Reports (Biological Series) of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 901-1425 were issued as Manuscript Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 1426-1550 were issued as Department of Fisheries and Environment, Fisheries and Marine Service Manuscript Reports. The current series name was changed with report number 1551.

Manuscript reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page. Out-of-stock reports will be supplied for a fee by commercial agents.

Rapport manuscrit canadien des
sciences halieutiques et aquatiques 2786

2007

CODIUM FRAGILE SSP. *TOMENTOSOIDES* : REVUE DE LITTÉRATURE ET SITUATION AUX ÎLES-DE-LA-MADELEINE

par

Nathalie Simard, Nathalie Paille et Chris W. McKindsey

Direction régionale des sciences
Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
850, route de la Mer
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

© Sa majesté la Reine du Chef du Canada, 2007.
N° de cat. Fs 97-4/2786F ISSN 1488-5468

On devra citer la publication comme suit :

Simard, N., N. Paille et C.W. McKindsey. 2007. *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* : revue de littérature et situation aux Îles-de-la-Madeleine. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 2786 : vii + 40 p.

2007-01309/

TABLES DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX IV
LISTE DES FIGURES V
RÉSUMÉ VI
ABSTRACT VII
1. INTRODUCTION 1
2. REVUE DE LITTÉRATURE 2
2.1 DESCRIPTION DE L'ESPÈCE 2
2.2 ORIGINE ET PROLIFÉRATION 3
2.2.1 Vecteurs d'introduction et de dispersion 4
2.3 LA BIOLOGIE DE CODIUM 4
2.3.1 Habitat et tolérances environnementales 4
2.3.2 Reproduction et cycle de vie 5
2.3.3 Croissance et survie 7
2.4 IMPACTS SUR LES ÉCOSYSTÈMES ET SUR L'ÉCONOMIE 8
2.4.1 Conséquences écologiques 8
2.4.2 Conséquences économiques 11
2.5 MÉTHODES DE CONTRÔLE ET DE TRAITEMENT 12
2.5.1 Méthodes de contrôle 12
2.5.2 Méthodes de traitement des mollusques d'élevage 13
3. CAMPAGNES EXPLORATOIRES AUX ÎLES-DE-LA-MADELEINE : MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS 13
3.1 ÉCHANTILLONNAGE 2004 13
3.2 ÉCHANTILLONNAGE 2005 14
3.2.1 Les transects en plongée sous-marine et en apnée 14
3.2.2 Les stations en plongée sous-marine 14
3.2.3 Les transects littoraux 15
3.2.4 Le quai de la mine Seleine 15
4. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 15
5. REMERCIEMENTS 17
6. BIBLIOGRAPHIE 18
7. TABLEAUX 24
8. FIGURES 31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Résultats des observations de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* pour les stations et transects effectués aux Îles-de-la-Madeleine en 2004.. 24

Tableau 2. Nombre de plants de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* par mètre carré et autres observations réalisés le long des transects effectués dans le havre de la Grande Entrée aux Îles-de-la-Madeleine en 2005.. 25

Tableau 3. Nombre de plants de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* par mètre carré observés le long des transects effectués dans la baie Clarke et la baie Old Harry aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. 26

Tableau 4. Recouvrement (%) par *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* et observations aux stations (S) effectuées dans la baie Old Harry aux Îles-de-la-Madeleine en 2005.. 27

Tableau 5. Observations réalisées aux stations (S) situées dans le havre de la Grande Entrée et la baie de la Grosse-Île aux Îles-de-la-Madeleine en 2005..... 28

Tableau 6. Observations de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* le long des transects littoraux (L) effectués dans la baie Old Harry, la lagune de Havre-aux-Maisons, le Bassin aux Huîtres et l'Île du Havre Aubert aux Îles-de-la-Madeleine en 2005.. 29

Tableau 7. Observations de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* sur neuf paires de piliers situées sur les côtés est et ouest du quai de la mine Seleine aux Îles-de-la-Madeleine en 2005 30

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Photographies de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*. 31

Figure 2. Reproduction asexuée et cycle de vie de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*..... 32

Figure 3. Stations et transects pour *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* effectués aux Îles-de-la-Madeleine en 2004. 33

Figure 4. Emplacement des 18 transects effectués en plongée sous marine dans le havre de la Grande Entrée pour *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* aux Îles-de-la-Madeleine en 2005.34

Figure 5. Emplacement des sept transects effectués pour *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* dans la baie Clarke et la baie Old Harry aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. 35

Figure 6. Stations d'échantillonnage pour *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* effectuées dans la baie Old Harry aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. 36

Figure 7. Recouvrement moyen (%) par *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* aux stations échantillonnées dans la baie Old Harry aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. Les barres représentent les écarts type.. 37

Figure 8. Stations d'échantillonnage pour *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* effectuées dans le havre de la Grande Entrée et la baie de la Grosse-Île aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. ... 38

Figure 9. Emplacement des sept transects littoraux effectués dans la baie Old Harry, la lagune de Havre-aux-Maisons et le Bassin aux Huîtres aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. 39

Figure 10. Emplacement des deux transects pour *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* effectuées au quai de l'Anse à la Cabane et dans la baie du Bassin sur l'île du Havre-Aubert aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. 40

RÉSUMÉ

Simard, N., N. Paille et C.W. McKindsey 2007. *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* : revue de littérature et situation aux Îles-de-la-Madeleine. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 2786 : vii + 40 p.

Ce document présente une revue des connaissances sur les caractéristiques et la biologie de cette algue qui s'applique à la côte est de l'Amérique du Nord et au sud du golfe Saint-Laurent. Un aperçu des impacts écologiques et économiques observés ailleurs dans le monde et des tentatives de contrôle est également présenté.

Codium fragile ssp. *tomentosoides* a été observé aux Îles-de-la-Madeleine pour la première fois en 2003. Un programme d'échantillonnage exploratoire a été réalisé en 2004 et 2005 afin d'évaluer la situation de cette espèce dans cette région. Les résultats démontrent que *C. fragile* ssp. *tomentosoides* s'est établi dans la région du havre de la Grande Entrée, particulièrement dans la baie Old Harry et à l'embouchure de la baie de la Grosse Île où des densités importantes ont été répertoriées. Les conditions environnementales des Îles-de-la-Madeleine pourraient donc être propices à une invasion par cette algue. Les conséquences écologiques de l'arrivée de *C. fragile* ssp. *tomentosoides* sur les communautés indigènes des Îles-de-la-Madeleine sont encore inconnues à ce jour. Un meilleur contrôle des vecteurs potentiels d'introduction et de dispersion et la mise sur pied d'un programme de suivi et de recherche sont des actions nécessaires pour limiter les risques de dispersion et mieux comprendre les conséquences écologiques et économiques inhérentes à la présence de cet envahisseur.

ABSTRACT

Simard, N., N. Paille and C.W. McKindsey 2007. *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* : literature review and current status in the Magdelen Islands. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2786: vii + 40 p.

This document presents a review of the characteristics and the biology of this alga related to the east coast of North America and southern Gulf of St. Lawrence. A review of the ecological and economic impacts observed in other areas of the world and control methods is also presented.

Codium fragile ssp. *tomentosoides* was first observed in the Magdelen Islands in 2003. A sampling program was conducted in this area in 2004 and 2005 to evaluate the current status of this species. Results showed that *C. fragile* ssp. *tomentosoides* is established in Great Entry harbour, particularly in Old Harry Bay and the mouth of Grosse Île Bay where important densities were observed. Environmental conditions in the Magdelen Islands may be favorable for an invasion by this alga. Ecological impacts on native communities following the arrival of *C. fragile* ssp. *tomentosoides* in the Magdelen Islands are unknown. Better control of potential vectors for introduction and dispersal and the development of monitoring and research programmes are needed to limit the spread of this species and better understand its ecological and economic impacts.

1. INTRODUCTION

L'algue verte *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* est l'une des espèces algales les plus envahissantes sur la planète (Trowbridge 1998). À partir de son lieu d'origine (Asie), elle s'est dispersée dans les mers tempérées partout à travers le monde (e.g. Europe, Nouvelle-Zélande, Australie, Amérique du Nord). *C. fragile* ssp. *tomentosoides* est observé pour la première fois sur la côte est de l'Amérique du Nord en 1957 à Long Island, New York (Bouck et Morgan 1957). Garbary *et al.* (1997) répertorient cette algue dans le golfe du Saint-Laurent en 1996 à Caribou Harbour, Nouvelle-Écosse. Elle est aujourd'hui présente au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse et à l'Île-du-Prince-Édouard depuis près d'une décennie (Bird *et al.* 1993, Garbary *et al.* 1997, Garbary et Jess 2000, Hubbard et Garbary 2002). À l'inverse des autres régions colonisées par *C. fragile* ssp. *tomentosoides*, il n'existe aucune espèce indigène de *Codium* dans le nord ouest de l'Atlantique, une situation qui offre à cette espèce un nouveau type d'habitat. Étant donné la grande taille de cette espèce et sa capacité à développer des peuplements très denses, les impacts d'une invasion sur les écosystèmes locaux du nord-ouest de l'Atlantique pourraient être plus importants que partout ailleurs dans le monde (C.D. Trowbridge, Oregon State University, Newport, comm. pers.). Cependant, à l'exception d'une étude récente (Schmidt et Scheibling 2006), de quelques hypothèses sur les impacts potentiels (Garbary *et al.* 1997, Scheibling 2003) et quelques observations non publiées (F. Hartog, Ministère des Pêches et des Océans, Institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli, Québec, comm. pers.), peu de recherches ont été effectuées à ce sujet.

En raison de sa proximité et de ses conditions environnementales similaires aux secteurs infestés du sud du golfe du Saint-Laurent, les Îles-de-la-Madeleine ont été considérées par le Ministère des Pêches et des Océans (MPO) comme étant particulièrement à risque quant à l'introduction de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*. Le MPO tient compte de ce risque depuis quelques années lors de l'examen des demandes de transferts aquicoles. En juin 2003, en réponse aux préoccupations exprimées dans une lettre du Regroupement des mariculteurs du Québec, le MPO a accru ses efforts visant à évaluer et minimiser les risques d'introduction des espèces envahissantes aux Îles-de-la-Madeleine par le biais d'un programme de sensibilisation et par l'implication des équipes scientifiques présentes sur le terrain. Au cours de l'été 2003, des scientifiques du MPO (P. Archambault, Région du Québec) travaillant dans le havre de la Grande Entrée aux Îles-de-la-Madeleine ont signalé la présence de quelques spécimens de *C. fragile* ssp. *tomentosoides*.

Par ses nombreuses baies et bassins et ses eaux chaudes en été, les Îles-de-la-Madeleine semblent offrir des habitats potentiels adéquats pour la survie et la reproduction de cette espèce. Le MPO a donc dressé un plan d'action dont les principaux objectifs sont : 1) approfondir les connaissances sur cette algue; 2) évaluer la situation aux Îles; 3) accroître le contrôle des transferts d'organismes pour l'aquaculture et ; 4) sensibiliser la population.

Le présent document est divisé en deux volets qui se rattachent respectivement aux deux premiers objectifs du plan d'action du MPO. Dans le premier volet, nous présentons une revue générale des connaissances sur 1) les caractéristiques de *C. fragile* ssp. *tomentosoides*; 2) son origine et sa prolifération; 3) son habitat et ses tolérances

environnementales et leur influence sur la croissance et la survie; 4) sa reproduction et son cycle de vie; 5) ses impacts écologiques et économiques et; 6) les options de contrôle et de traitement. Le deuxième volet décrit un projet d'échantillonnage exploratoire visant à estimer l'abondance et la distribution de cette algue aux Îles-de-la-Madeleine et propose quelques recommandations.

2. REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 DESCRIPTION DE L'ESPÈCE

C. fragile ssp. *tomentosoides* (Figure 1) est une algue vert foncé composée de ramifications dichotomiques dressées dont la coupe transversale est cylindrique avec un diamètre de 0,4 à 0,7 cm. Il possède une texture molle et spongieuse très caractéristique et ses branches sont couvertes d'un duvet. La hauteur maximale observée en Nouvelle-Écosse (Canada) se situe entre 55 et 70 cm (Chapman 1999). D'un point de vue taxonomique, *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* fait partie de la division des Chlorophytes, de la classe des Chlorophyceae, de l'ordre des Bryopsidales et de la famille des Codiaceae.

Il existe 6 sous-espèces de *Codium fragile* dans le monde : ssp. *capense*, ssp. *novae-zelandiae*, ssp. *tasmanicum*, ssp. *atlanticum*, ssp. *scandinavicum* et ssp. *tomentosoides* (Trowbridge 1998 et références incluses). Seules les trois dernières sont considérées comme des espèces envahissantes (Hubbard et Garbary 2002). En Amérique du Nord, il semblerait que l'on trouve uniquement *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* (Trowbridge 1998). Les analyses génétiques de Malinowski (1974) démontrent un grand niveau d'uniformité génétique le long de la côte est des États-Unis entre le New Jersey et le Maine (sauf à Boothbay Harbor, Maine) ce qui indiquerait que les individus pourraient être, en général, représentés par un seul et unique génotype. D'autres études plus récentes ont également montré une faible variation génétique de cette espèce à travers le monde (Goff *et al.* 1982, Provan *et al.* 2005, Coleman 1996).

Cependant, certaines recherches ont permis de constater des variations génétiques et/ou morphologiques chez *Codium* dans certaines régions des États-Unis et du Canada. Malinowski (1974) a observé une population à Boothbay Harbor ayant une génétique différente de celle localisée partout ailleurs sur la côte est des États-Unis, entre le New Jersey et le Maine. Une étude récente de Prince et Trowbridge (2004) émet l'hypothèse que cette population pourrait éventuellement correspondre à ssp. *atlanticum* ou représenter une souche génétique différente de ssp. *tomentosoides*. Des recherches récentes au Canada ont également mis en évidence deux morphologies différentes de *Codium* dans la baie de Malpeque (Île-du-Prince-Édouard) (Hubbard et Garbary 2002). Ces mêmes auteurs ont émis deux hypothèses pour expliquer ces deux types morphologiques : 1) une des deux morphologies pourrait correspondre à ssp. *atlanticum ou*; 2) la plasticité phénotypique de ssp. *tomentosoides* aurait permis une adaptation locale se traduisant par des différences morphologiques. En 2006, C. Maggs (Queen's University, Belfast, United Kingdom, comm. pers.) a effectué des analyses sur des plants de *Codium* provenant de Malpeque Bay et ces derniers ont été identifiés comme ssp.

tomentosoides. D'autre part, les recherches de Kusakina (2004) et Kusakina *et al.* (2006) sur la variation morphologique et moléculaire de *Codium* au Canada et à Boothbay Harbor dans le Maine (États-Unis) ont mis en évidence trois groupes de *Codium*. Un premier groupe situé sur la côte Atlantique de la Nouvelle-Écosse (Goose Point and Mahone Bay), sur la côte du Nouveau-Brunswick (Parlee Beach) et à Boothbay Harbor serait, sans contredit, ssp. *tomentosoides*. Un second groupe situé à Malpeque Bay (PEI) serait possiblement une variante asexuée de ssp. *atlanticum* et un troisième groupe situé uniquement à Caribou Harbour (Nouvelle-Écosse) serait peut-être un hybride entre ssp. *tomentosoides* et ssp. *atlanticum*. Des études supplémentaires doivent cependant être effectuées pour valider l'identification des deux derniers groupes.

Les études ne sont donc pas unanimes concernant l'identification des différents plants de *Codium* principalement au Canada. Cependant, il est possible que les deux sous-espèces (ssp. *atlanticum* et ssp. *tomentosoides*) soient présentes dans les eaux canadiennes. Malgré le haut taux d'uniformité génétique de *Codium* observé en général en Amérique du Nord, il est clair qu'il existe dans certaines régions des différences génétiques et morphologiques chez ssp. *tomentosoides*. Ces différences pourraient s'expliquer par des introductions multiples indépendantes, par l'adaptation de ssp. *tomentosoides* à des conditions environnementales particulières confirmant la plasticité phénotypique de cette algue, ou encore, par de l'hybridation.

2.2 ORIGINE ET PROLIFÉRATION

Codium fragile ssp. *tomentosoides* (appelé *Codium* par la suite) est une espèce originaire d'Asie, probablement du Japon (Trowbridge 1998). Cette algue prolifère aujourd'hui dans une vaste gamme d'habitats côtiers à travers le monde. On la retrouve sur les côtes de l'Atlantique est de l'Afrique du Nord jusqu'en Norvège ainsi que sur les côtes méditerranéennes. Elle est également présente sur les côtes Atlantique et Pacifique de l'Amérique du Nord ainsi qu'en Nouvelle-Zélande et en Australie (Dromgoole 1975, Carlton and Scanlon 1985, Goff *et al.* 1992, Campbell 1999, Trowbridge 1998, 1999 et références incluses). *Codium* est également présent en Afrique du Sud (Provan *et al.* 2005) ainsi que sur les côtes chiliennes (Castilla *et al.* 2005, Provan *et al.* 2005).

Codium apparaît vers 1900 sur les côtes européennes, plus exactement aux Pays-Bas. Par la suite, il apparaît au Danemark (1919), en Suède (1933), en Angleterre (1939), en Irlande (1941), en Norvège (1946), en Écosse (1953) et sur les côtes de la Méditerranée en 1950 (Trowbridge 1999 et références incluses).

L'apparition de *Codium* sur la côte ouest de l'Amérique du Nord s'est faite dans les années 1970 en Californie (Silva 1979). Selon le site Internet de Prince William Sound Régional Citizens' Advisory Council (2004), l'habitat potentiel de cette algue pourrait s'étendre jusqu'en Alaska.

Sur la côte est de l'Amérique du Nord, *Codium* est observé pour la première fois en 1957 à Long Island Sound, New York (Bouck et Morgan 1957). Il a ensuite colonisé la côte est en direction nord et sud. Il est observé pour la première fois au Canada vers 1989, sur la côte Atlantique de la Nouvelle Écosse (Bird *et al.* 1993). Aujourd'hui, il occupe un territoire qui s'étend de la Caroline du Nord jusqu'au golfe du Saint-Laurent où il a fait

son apparition en 1996 à Caribou Harbour, en Nouvelle-Écosse (Searles *et al.* 1984, Garbary *et al.* 1997). Il est également présent sur les côtes du Nouveau-Brunswick et de l'Île du Prince-Édouard (Garbary et Jess 2000, Hubbard et Garbary 2002) et il est observé aux Îles-de-la-Madeleine depuis 2003 (N. Simard, MPO, obs. pers.). La source probable d'introduction de *Codium* sur la côte est de l'Amérique du Nord serait l'Europe plutôt qu'une introduction directe de l'Asie (Malinowski 1974, Loosanoff 1975, Carlton et Scanlon 1985).

2.2.1 Vecteurs d'introduction et de dispersion

Il existe deux types de dispersion : la dispersion transcontinentale et/ou transocéanique (introduction) et la dispersion côtière.

Les vecteurs potentiels d'introduction qui permettent une dispersion transcontinentale et/ou transocéanique incluent : 1) le transfert de mollusques contaminés d'un pays à un autre ou d'un bout à l'autre d'un pays pour des fins d'aquaculture; 2) le transport de produits marins frais enveloppés d'algues; 3) les salissures des bateaux en provenance d'autres pays; 4) les eaux de lest des bateaux et; 5) la dérive de matériel flottant contaminé (Malinowski 1974, Loosanoff 1975, Carlton et Scanlon 1985, Bird *et al.* 1993, EPA 1999, Locke *et al.* 2003). Selon Loosanoff (1975) et Carlton et Scanlon (1985), le vecteur le plus probable d'introduction de *Codium* sur la côte est de l'Amérique du Nord seraient les salissures d'organismes sur les coques de bateaux en provenance d'Europe. Cette conclusion s'appuie, entre autres, sur le fait que *Codium* est capable de s'établir sur les surfaces mal protégées par les peintures antisalissures, qu'il est capable de coloniser des substrats de surface minimale, qu'il est capable de survivre aux forces de dragage sous forme de crampon basal et qu'il possède une plasticité physiologique qui lui permet de survivre sous une large gamme de régimes de température et de salinité (Carlton et Scanlon 1985).

Il existe au moins six vecteurs potentiels qui permettent une dispersion côtière. Quatre sont reliés aux activités humaines et deux à des phénomènes naturels. Les vecteurs anthropiques sont : 1) les salissures sur les coques de bateaux; 2) le transfert de mollusques pour l'aquaculture à une échelle locale ou régionale; 3) la pêche commerciale ou de plaisance utilisant des engins de pêche encrassés (contaminés) par *Codium* et; 4) l'utilisation d'algues comme matériel d'emballage pour le transport de produits marins frais (Coffin et Stickney 1967, Carlton et Scanlon 1985, Trowbridge 1999, Locke *et al.* 2003). Les mécanismes naturels sont : 1) le déplacement des cellules reproductrices mobiles et ; 2) la dérive de fragments ou de plants entiers par les courants (Coolidge Churchill et Moeller 1972, Dromgoole 1982, Carlton et Scanlon 1985, Bird *et al.* 1993).

2.3 LA BIOLOGIE DE CODIUM

2.3.1 Habitat et tolérances environnementales

Codium colonise des habitats estuariens et marins. Étant donné la rigueur des hivers en Amérique du Nord, *Codium* se retrouve principalement dans la zone subtidale où il est à

l'abri du gel (Carlton et Scanlon 1985, Trowbridge 1999). Cependant, il est possible de l'observer à marée basse dans la zone intertidale à l'intérieur de cuvettes (Bégin et Scheibling 2003). Il est capable de coloniser des milieux exposés aux vagues ou abrités (MacNair 2002). Il se retrouve généralement à des profondeurs de moins de 13 mètres (Chapman 1999). Cependant, il est possible de trouver des plants de *Codium* à des profondeurs de 24 à 77 m et à plus de 26 km des côtes. Ces derniers seraient transportés à ces profondeurs par des courants de fond (Carlton et Scanlon 1985).

Codium se fixe sur des substrats durs incluant les substrats rocheux et les mollusques comme la moule bleue, l'huître ou le pétoncle (Carlton et Scanlon 1985, Bird *et al.* 1993, Campbell 1999). Lorsque *Codium* est fixé sur un petit substrat comme une coquille de mollusque, il peut dériver et se retrouver sur des fonds plats de vase ou de sable, d'où le nom vernaculaire de voleur d'huître « oyster thief » utilisé couramment en anglais (Carlton et Scanlon 1985). Il peut aussi se fixer sur d'autres espèces de macroalgues (Chapman 1999, Campbell 1999) et sur les zostères (Garbary *et al.* 2004). Il se fixe également sur des substrats durs d'origine anthropique, tels que les quais et les brise-lames, et Bulleri et Airoldi (2005) suggèrent même que la présence de ces structures pourrait aider la propagation de l'espèce.

Codium tolère une large gamme de températures et de salinités lui permettant de s'adapter facilement à de nouveaux environnements hors de son aire d'origine. Cette algue tolère des températures allant de -2 à 27-33°C et des salinités allant de 12-17,5 à 40-42 ‰ (Hanisack 1979, Carlton et Scanlon 1985, Trowbridge 1999) et sa tolérance aux faibles salinités (<24 ‰) augmente avec la température (Hanisak 1979).

Selon Malinowski (1974), les tolérances de *Codium* peuvent varier en fonction des populations et des conditions environnementales locales et du stade de vie. Hanisack (1979) rapporte que les cellules reproductrices (appelées spores dans le cadre de cette étude) germeraient à des salinités supérieures à 18 ‰ et à des températures supérieures à 12°C.

2.3.2 Reproduction et cycle de vie

En général, la reproduction nécessite des températures minimales de 12-15°C ainsi qu'une salinité minimale de 18 ‰ (Coolidge Churchill et Moeller 1972, Malinowski 1974, Hanisack 1979). Selon les expériences de Hanisack (1979), les conditions optimales pour la reproduction sont à 24°C et à une salinité de 30-36 ‰.

Sur la côte est de l'Amérique du Nord, la reproduction de *Codium* serait asexuée (Figure 2) (Coolidge Churchill et Moeller 1972, Ramus 1972, Fralick et Mathieson 1973, Malinowski et Ramus 1973) ce qui expliquerait la faible variation génétique des populations observée (Malinowski 1974, Goff *et al.* 1982). Selon une hypothèse émise par Malinowski (1974) et reformulée par Kusakina *et al.* (2006), il est possible que *Codium* ait la capacité de changer son mode de reproduction et passer à une reproduction sexuée lorsque les conditions environnementales ne lui sont pas favorables. Ce type de reproduction permettrait à *Codium* de réorganiser rapidement son génome afin de s'adapter et ensuite retourner à un mode de reproduction asexuée. Cette hypothèse expliquerait pourquoi les populations de *Codium* de Boothbay Harbor (une région du Maine où les températures varient de 1,7 à 15,6°C) possèdent un génome différent des

autres populations de la côte est des États-Unis et sont capables de croître à des températures aussi basses que 4°C (Malinowski 1974). Cette hypothèse pourrait également expliquer la possible hybridation entre ssp. *tomentosoides* et ssp. *atlanticum* suggérée par Kusakina *et al.* (2006). Néanmoins, cette hypothèse reste à être confirmée car aucune reproduction sexuée n'a été observée sur la côte est de l'Amérique du Nord que ce soit en nature ou en laboratoire (Trowbridge 1998, 1999). Une étude récente sur la reproduction de *Codium* rapporte qu'aucun gamète mâle n'est produit par ssp. *tomentosoides* (Prince et Trowbridge 2004).

Codium peut utiliser deux types de reproduction asexuée : la parthénogenèse (Kapraun et Martin 1987, 1988) et la reproduction végétative par bourgeonnement du thalle et/ou fragmentation du plant adulte (Coolidge Churchill et Moeller 1972, Fralick et Mathieson 1973, Malinowski 1974, Chapman 1999, Bégin et Scheibling 2003, Garbary *et al.* 2004) (Figure 2).

Parthénogenèse

La reproduction par parthénogenèse s'effectue à partir d'un gamète femelle qui se développe sans fécondation (Parent 1990). La cellule reproductrice est dotée de deux flagelles lui permettant une faible mobilité qui dure environ 30 minutes après sa libération (Coolidge Churchill et Moeller 1972). Une fois déposée, la cellule reproductrice germe rapidement (quelques heures à quelques jours au plus) et se développe en filaments indifférenciés (stade vaucherioïde) (Trowbridge 1998). Étant donné que *Codium* se reproduit par parthénogenèse, les plants sont haploïdes tel que démontré par Kapraun et Martin (1987) en Caroline du Nord. La libération des cellules reproductrices et la germination se déroulent à la fin de l'été et au début de l'automne lorsque les températures favorisent une croissance rapide (août-septembre au Rhode Island, É.-U.) (Fralick et Mathieson 1973, Malinowski 1974, Hanisak 1979).

Stade vaucherioïde

Il s'agit du stade non différencié de *Codium* et il ressemble à une petite touffe de filaments. Les filaments du stade vaucherioïde ont la capacité de s'ancrer sur un nouveau substrat et de former un nouveau thalle lorsqu'ils sont fragmentés (Trowbridge 1999). *Codium* reste fréquemment au stade vaucherioïde lorsqu'il est dans un environnement calme (à l'abri des vagues) ou s'il est dans un milieu riche en nutriments ou en métaux traces (Ramus 1972, Steele 1975, Trowbridge 1999).

Différenciation du thalle

La différenciation du thalle se produit lorsque le stade vaucherioïde développe des primordia qui se transformeront en axes dichotomiques. Une étude en laboratoire de Ramus (1972) a démontré que l'action des vagues pouvait initier la différenciation et maintenir le plant dans un stade différencié. Steele (1975) rapporte qu'une différenciation a également lieu dans un environnement pauvre en nutriments ou en métaux traces. Une dédifférenciation est également possible et se traduit par la production de filaments semblables à ceux du stade vaucherioïde sur la surface de l'algue (Ramus 1972,

Trowbridge 1999). Cette dédifférenciation a pu être observée lorsqu'un plant de *Codium* différencié ne subissait plus l'action des vagues (Ramus 1972).

Reproduction végétative

Il y aurait deux types de reproduction végétative. Il y a le bourgeonnement d'un thalle adulte durant l'été qui consiste à produire des excroissances qui se détachent pour former de jeunes thalles de quelques centimètres (Chapman 1999) et il y a la fragmentation d'un thalle adulte (Garbary *et al.* 2004). Des expériences en laboratoire et *in situ* ont démontré qu'un fragment, tout comme un bourgeon, a la capacité de s'ancrer lorsqu'il rencontre un substrat adéquat en produisant une masse filamenteuse semblable à un crampon basal et de produire de nouvelles branches verticales dichotomiques (Fralick et Mathieson 1972, Malinowski 1974, Hanisak 1979, Garbary *et al.* 2004) (Figure 2). En Nouvelle-Écosse, le processus de fragmentation peut avoir lieu du printemps à l'automne avec une augmentation à partir de la fin de l'été sous l'action importante des vagues qui prévalent à cette période de l'année (Bégin et Scheibling 2003). Selon Garbary *et al.* (2004), la propagation végétative de *Codium* est un évènement courant dans le golfe du Saint-Laurent et se produit entre la fin du mois de mai et le début du mois de juin. La période peut cependant varier d'une région à l'autre (Trowbridge 1998). Une fragmentation hivernale due aux températures froides a également été observée par Fralick et Mathieson (1972), mais selon Hanisak (1979) les conditions environnementales seraient non favorables pour la reproduction à cette période de l'année. Il est aussi possible que les frondes meurent durant l'hiver, que seul le crampon survive et qu'à partir de ce dernier, un nouveau thalle soit produit au printemps (Fralick et Mathieson 1973, Dromgoole 1975, Hanisak 1979). Dans le golfe du Saint-Laurent, Garbary *et al.* (2004) ont également observé la production d'axes horizontaux sur le sédiment qui ont la capacité de former d'autres points d'ancrage et produire d'autres plants, tel un rhizome.

2.3.3 Croissance et survie

Les expériences en laboratoire et *in situ* de Hanisak (1979) dans les eaux du Rhode Island (États-Unis) ont démontré que la température est le principal facteur qui contrôle la saison de croissance et que la croissance et la reproduction sont limitées aux mois les plus chauds. La croissance mensuelle est corrélée positivement à la température de l'eau (Hanisak 1979, Bégin et Scheibling 2003). En général, la croissance du thalle nécessite une température minimale de 10-13°C et une salinité minimale de 12-22 ‰. Hanisak (1979) a cependant observé une croissance minime à 6°C. Le taux de croissance augmente de façon importante lorsque la température est supérieure à 16°C et que la salinité est supérieure à 27 ‰ (Malinowski et Ramus 1973, Malinowski 1974). Hanisack (1979) suggère que l'optimum de croissance se situe à 24°C et à une salinité de 24-30 ‰.

Dans le cas des spécimens de *Codium* présents dans les cuvettes en Nouvelle-Écosse, Bégin et Scheibling (2003) ont mesuré un taux de croissance de 2,9 cm/mois en mai-juin et un maximum de 5,6 cm/mois en août-septembre pour des plants qui étaient peu fragmentés. Une croissance moyenne de 9,2 cm/mois (août) a été rapportée au Massachusetts (Fralick et Mathieson 1973). Malinowski et Ramus (1973) ont observé un taux de croissance substantielle de 2,6 cm/mois en mai-juin au Connecticut (États-Unis) alors que la température moyenne de l'eau était seulement de 11°C. Selon les

observations de Malinowski (1974) réalisées au Connecticut, il faudrait environ un mois pour le développement d'un axe différentié d'un centimètre présentant une première dichotomie.

D'autres facteurs physiques peuvent influencer la croissance de *Codium*, soit en interaction avec la température ou de façon indépendante. Par exemple, Hanisak (1979) a montré que la salinité et l'énergie lumineuse interagissent avec la température pour déterminer la croissance. La croissance des thalles en hiver serait limitée par les basses températures et la diminution de la quantité d'énergie lumineuse. Le taux de croissance diminue vers le mois d'août lorsque la reproduction débute. Cette diminution s'expliquerait par le détournement du flux énergétique vers la reproduction au détriment de la production de matériel végétal (Hanisak 1979). La disponibilité d'azote inorganique affecte également la croissance (Hanisak 1979, Malinowski 1974). Cependant, *Codium* est capable d'utiliser les nitrates, les nitrites, l'ammoniac et l'urée comme source d'azote ce qui représente un avantage considérable (Hanisak 1979).

L'action des vagues et les températures froides peuvent restreindre la croissance et la biomasse des populations intertidales de *Codium* par la fragmentation et/ou le délogement des plants (Bégin et Scheibling 2003, Fralick et Mathieson 1972, Hanisak 1979). Les plants peuvent résister année après année lorsque le crampon n'est pas fragmenté durant l'hiver (Hanisak 1979). Selon Hanisak (1979), le processus de fragmentation hivernal éliminerait les différences de taille et de biomasse entre les plants. Selon lui, il est possible qu'une certaine taille soit avantageuse et que ce processus puisse être bénéfique au plant. Bégin et Scheibling (2003) émettent comme hypothèse que la fragmentation pourrait augmenter le taux de survie des plants sur les sites exposés aux vagues en diminuant les forces exercées par ces dernières sur les plants, ce qui permettrait de diminuer la probabilité de délogement.

2.4 IMPACTS SUR LES ÉCOSYSTÈMES ET SUR L'ÉCONOMIE

L'établissement de *Codium* peut créer des perturbations écologiques dans les écosystèmes et des impacts économiques sur l'industrie des mollusques et des crustacés (Scheibling 2000, 2001, Chapman *et al.* 2002).

2.4.1 Conséquences écologiques

Épiphytes, compétiteurs et brouteurs

Il existe plusieurs espèces d'épiphytes qui colonisent *Codium*. Les plus abondants en Nouvelle-Écosse sont : *Polysiphonia harveyi* et *Chordaria flagelliformis* (Bégin et Scheibling 2003). *Ectocarpus siliculosus*, *Bonnemaisonia hamifera*, *Rhizoclonium tortuosum*, *Ceramium rubrum* et *Pilayella littoralis* peuvent également coloniser *Codium* (Bégin et Scheibling 2003). Ces épiphytes ne semblent pas restreindre de façon importante la croissance de *Codium*. Cependant, une croissance prolifique de ces derniers (particulièrement l'algue rouge filamenteuse *Polysiphonia harveyi)* peut nuire à la survie

de *Codium* en augmentant sa résistance aux vagues et sa probabilité d'être délogée par ces dernières (Bégin et Scheibling 2003).

Codium est colonisé par d'autres espèces envahissantes telles que l'algue rouge épiphytique *Neosiphonia harveyi*, le bryozoaire *Membranipora membranacea* et les ascidies *Botrylloides violaceus* et *Diplosoma listerianum*. La dérive de fragments de *Codium* pourrait donc favoriser la dispersion de ces espèces non-indigènes vers de nouveaux secteurs (Tyrrell 2005).

Les nudibranches *Placida dendritica* et *Elysia maoria* sont reconnus comme des brouteurs efficaces de *Codium* (Freeman et Smith 1999, Trowbridge 2002). Un grand nombre de *P. dendritica* ont déjà été observés se nourrissant sur des plants de *Codium* en Nouvelle-Écosse (Bégin et Scheibling 2003).

Bien que des expériences en laboratoire aient démontré que l'oursin vert (*Stongylocentrotus droebachiensis*) pouvait se nourrir de *Codium* lorsqu'il était en contact avec cette algue, il ne serait pas spécialement attiré par celle-ci (Prince et Leblanc 1992, Scheibling et Anthony 2001, Scheibling 2001). Le bigorneau (*Littorina littorea*) a été observé sur *Codium*, mais les effets de ce brouteur sur les plants adultes ne sont pas connus. Toutefois, il peut se nourrir des jeunes plants en germination et ainsi limiter le recrutement de cette algue (Bégin et Scheibling 2003).

L'étude de Malinowski (1974) a démontré que *Zostera marina* pouvait être dans certains cas un compétiteur de *Codium* pour l'espace en limitant sa croissance et sa reproduction. *Zostera* mettrait hors compétition *Codium* de deux façons par :

1) Compétition pour la lumière : *Zostera* réduit l'apport de lumière de façon directe (en utilisant l'énergie lumineuse) et indirecte (par ombrage). Au début de l'été, la zostère est suffisamment haute pour faire de l'ombre à *Codium* ce qui diminue la quantité de lumière disponible pour la photosynthèse et la croissance de *Codium*.

2) Augmentation de la sédimentation : Les peuplements de *Zostera* diminuent la vélocité des courants de marée, ce qui augmente le taux de sédimentation. Ce taux de sédimentation recouvre les thalles matures ainsi que les substrats propices à l'établissement des cellules reproductrices de *Codium*. De plus, la sédimentation augmente la turbidité de l'eau et diminue la quantité de lumière disponible pour la photosynthèse.

Structure des communautés

Les impacts de *Codium* sur l'écosystème local pourraient être plus importants dans le nord-ouest de l'Atlantique que dans toutes les autres régions infestées où l'on retrouve des espèces endémiques de *Codium* (C.D. Trowbridge, Oregon State University, Newport, États-Unis, comm. pers.). Cette région serait aussi plus susceptible aux invasions que les autres régions du monde en raison de sa faible diversité d'algues indigènes (Chapman 1999) et sa pression de broutage (Freeman et Smith 1999). Les changements dans les écosystèmes peuvent être aussi subtils que la modification du cycle de vie du nudibranche *Elysia viridis* (Trowbridge et Todd 2001). La présence de *Codium* pourrait même altérer le recrutement de certains invertébrés benthiques (e.g. balanes, ascidies, bryozoaires) parce que les homogénats de cette algue sont toxiques pour la

plupart des larves (C.D. Trowbridge, Oregon State University, Newport, États-Unis, comm. pers.), une situation dont les impacts potentiels sont inconnus.

Des modifications importantes liées à la présence de *Codium* ont déjà été prédites et observées. Scheibling et Anthony (2001) et Scheibling (2001, 2003) ont décrit le changement qu'a subi le cycle écologique classique des oursins et des forêts de laminaires suite à l'introduction de *Codium* dans le sud du golfe du Saint-Laurent. Au cours de ce cycle, la présence d'importants peuplements de laminaires favorise l'augmentation des populations d'oursins verts. Le broutage excessif de ces derniers détruit ces peuplements créant ainsi un environnement plus pauvre dominé par des substrats relativement dénudés et des algues rouges calcaires. Par la suite, le manque de nourriture et/ou les maladies causent une mortalité massive des oursins permettant la réapparition des peuplements de laminaires (Scheibling 1986). L'absence temporaire de laminaires durant ce cycle représente une période propice à l'établissement de *Codium* qui empêche le recrutement des jeunes laminaires et remplace peu à peu ce type de communauté (Elner et Vadas 1990, Chapman 1999, Scheibling *et al.* 1999, Scheibling 2001, Chapman *et al.* 2002). Cette situation a conduit à des changements considérables dans la composition des communautés d'organismes de ces régions (Harris et Tyrrell 2001). L'arrivée du bryozoaire envahissant et épiphyte des laminaires, *Membranipora membranacea*, a également favorisé l'établissement de *Codium* dans cette région. Ce bryozoaire a eu des impacts négatifs sur la croissance et la survie des laminaires en provoquant une défoliation (Scheibling *et al.* 1999, Scheibling 2000, Levin *et al.* 2002). Dix ans après l'apparition de *Codium* en Nouvelle-Écosse, celui-ci a remplacé les peuplements de laminaires sur environ 900 km de côtes (Scheibling 2001).

Selon Chapman (1999), ces changements importants au niveau d'une communauté peuvent avoir des conséquences majeures sur l'écosystème benthique en affectant la circulation de l'eau, le taux de sédimentation et, par conséquent, les caractéristiques de l'eau et de la lumière. Il est également possible qu'une densité élevée de *Codium* puisse amener une compétition pour les nutriments et par conséquent altérer la prise de nutriments et le taux de recyclage des autres macroalgues (Campbell 1999). Un changement dans la communauté algale affecte les populations de brouteurs et, par conséquent, les différentes populations d'espèces prédatrices. En Nouvelle-Écosse, une diminution marquée de petites espèces cryptiques et sédentaires comme les patelles, les chitons et les étoiles de mer a été observée suite à l'invasion de *Codium*. Il est donc possible d'observer une diminution de la biodiversité suite à l'établissement de *Codium* (Scheibling 2001). D'autre part, Harris et Jones (2005) suggèrent qu'une communauté dominée par *Codium* peut augmenter la diversité d'épibiontes et créer une nouvelle communauté potentiellement plus complexe que les peuplements de laminaires. Schmidt et Scheibling (2006) ont également démontré que le remplacement des laminaires par *Codium* modifie l'assemblage des épibiontes associés. Ces auteurs précisent que la diversité épiphytique et épifaunique était comparativement plus importante dans les peuplements de *Codium* que dans ceux de laminaires.

Contrairement aux observations de Malinowski (1974), Garbary *et al.* (2004) ont démontré que *Codium* est capable de compétitionner *Zostera marina*. *Codium* est capable de produire des filaments qui peuvent s'enrouler sur les rhizomes de *Zostera* et créer une forme de disque basal. Selon ces auteurs, cette aptitude lui permet de s'ancrer, de croître

et de proliférer dans des substrats mous tel que ceux retrouvés dans les zostéraies. Leurs expériences en laboratoire ont démontré que l'attachement de *Codium* aux rhizomes de *Zostera* peut provoquer jusqu'à 90 % de mortalité de cette dernière en quatre mois, d'où son nouveau nom vernaculaire de voleur de zostères « *Zostera* thief » dans l'est du Canada (Nouvelle-Écosse). Les impacts de ces changements sur les autres espèces indigènes ne sont pas connus.

2.4.2 Conséquences économiques

L'établissement de *Codium* dans un écosystème peut causer des dommages importants à l'industrie de l'aquaculture (Trowbridge 1999). Cette algue a tendance à s'attacher aux mollusques (huîtres, moules, pétoncles) et à les déplacer grâce à sa capacité de flottaison et au fait qu'elle peut être emportée par les courants (Loosanoff 1975, Dromgoole 1982, Campbell 1999, Trowbridge 1999). La fixation de *Codium* sur les bivalves empêche également ces derniers de se nourrir de façon adéquate affectant ainsi leur taux de croissance voire même leur survie (Fralick 1970). La croissance rapide des plants peut colmater les structures d'élevage et entraver la circulation de l'eau affectant ainsi la productivité (Bird *et al.* 1993). Le nettoyage des mollusques avant leur mise en marché représente également des coûts supplémentaires de production (Carlton et Scanlon 1985). *Codium* colonise également les structures comme les piliers des quais, les pontons et les bouées (Dromgoole 1982, Campbell 1999) et encrasse les engins de pêche (Carlton et Scanlon 1985) ce qui implique un travail de nettoyage et des coûts supplémentaires.

L'établissement d'importants peuplements de *Codium* pourrait avoir des conséquences majeures sur certaines espèces commerciales. Le homard, l'oursin et certaines espèces de poissons vivent dans les peuplements de laminaires qui servent de pouponnière, d'abri et de garde-manger. La diminution de ces habitats pourrait donc avoir des effets négatifs sur le recrutement de ces espèces et des répercussions économiques importantes (Scheibling 2001). Adams *et al.* (1995) ont observé que la tanche (*Tautogalabrus adspersus*) préférait se reproduire sur les peuplements de cette algue introduite que sur ceux des espèces indigènes. Étant donné que la tanche pourrait représenter des inquiétudes pour certains stocks de poissons de l'est du Canada (MacAndrew 2003), cette situation pourrait potentiellement provoquer des impacts négatifs pour une grande variété de ressources. D'autre part, Levin *et al.* (1995) ont plutôt observé que le recrutement de la tanche sur les peuplements de laminaires était 6 fois plus important que celui sur *Codium*. Les espèces algales commercialement exploitées comme *Chondrus crispus* peuvent être affectées par *Codium*. La plus grande taille de *Codium* affecte la croissance de *C. crispus* en raison d'un manque de lumière et de nutriments. La récolte de *C. crispus* peut également être affectée par la présence de *Codium* (Garbary *et al.* 1997).

Scheibling (2003) suggère que la structure de *Codium* peut empêcher le déplacement des poissons et des homards et potentiellement réduire leur abondance. D'autre part, en Irlande, *Codium* constitue un excellent habitat pour les petits poissons (e.x. chaboisseaux) et certains invertébrés en agissant comme un refuge physique et/ou chimique (C.D. Trowbridge, pers. comm.). Des homards se cachant sous des plants de *Codium* ont aussi été observés aux Îles-de-la-Madeleine (F. Hartog, Ministère des Pêches et des Océans, Mont-Joli, Québec, comm. pers.).

Malgré le fait que *Codium* ait le potentiel de causer des changements très importants sur les communautés indigènes, ces derniers ont été très peu étudiés. La compréhension du rôle de cette espèce et la détermination de ses impacts sur l'écosystème en entier sont des aspects très importants qui doivent être clarifiés.

2.5 MÉTHODES DE CONTRÔLE ET DE TRAITEMENT

2.5.1 Méthodes de contrôle

Jusqu'à présent, tous les efforts pour éradiquer *Codium* ont échoué (Trowbridge 1999). Néanmoins, lorsque des efforts de contrôle sont mis de l'avant, il est impératif de tenir compte de la périodicité du recrutement, de la reproduction saisonnière et du patron de croissance de *Codium*. Le contrôle a plus de chance d'être efficace s'il est effectué lorsque les températures sont basses (~10°C), avant la libération des gamètes ou avant le recrutement (Campbell 1999).

Il existe trois types de contrôle : le contrôle mécanique, le contrôle biologique (introduction de prédateurs et de parasites) et le contrôle chimique (herbicides).

Le contrôle mécanique

En Australie, des contrôles par élimination manuelle et mécanique des plants ont été tentés sans succès dans des fermes d'aquaculture d'huîtres. Ce type de contrôle est très laborieux et s'avère peu efficace car les plants sont capables de repousser à partir des crampons non arrachés. De plus, il est difficile de détecter les premiers stades microscopiques de *Codium* ainsi que les jeunes plants non différenciés (stade vaucherioïde). Enfin, les fragments et les plants détachés par contrôle mécanique qui ne sont pas récupérés pourraient contribuer à la dispersion de l'espèce (Trowbridge 1999). Wassman et Ramus (1973) rapportent que sur la côte est des Etats-Unis certains aquaculteurs ont érigé des barrières en grillage afin de limiter l'apport de plants matures en dérive sur les sites d'aquaculture.

Le contrôle biologique

Des densités élevées naturelles de gastéropodes *Elysia viridis* et *Placida dendritica* observées en Écosse ont éliminé localement des populations de *Codium* (Trowbridge 2002). Des introductions de ce type de brouteurs pourraient être envisagées comme moyen de contrôle biologique. Cependant, avant d'utiliser ce type de méthode, il est nécessaire d'effectuer des études sur la spécificité du parasite ou du brouteur introduit et de s'assurer qu'aucune autre espèce ne fera les frais de cette introduction.

Wassman et Ramus (1973) rapportent que des oursins verts ont été importés et relâchés sur un site envahi par *Codium* (Exton's Reef près de Brandford au Connecticut) afin d'évaluer le potentiel de cette espèce à contrôler *Codium* lorsque sa diète préférée (laminaires) n'est pas disponible. Les résultats ne sont cependant pas mentionnés.

Le contrôle chimique

Il s'agit de la méthode la moins recommandée. Des études ont été menées par Lewey (1976) et Lewey et Jones (1977) sur les effets de différents herbicides sur la croissance et la survie de macroalgues. Cependant, tel que rapporté par Trowbridge (1999), il existe trois problèmes majeurs liés à l'utilisation de ces produits chimiques : 1) l'herbicide doit entrer en contact avec l'algue durant un certain temps pour qu'il soit efficace, ce qui n'est pas évident à réaliser dans un milieu aquatique ouvert; 2) une grande quantité d'herbicide est nécessaire et; 3) ces derniers ne sont pas assez sélectifs et peuvent causer des dommages écologiques importants. Pour ces trois raisons, le contrôle chimique est donc considéré comme une option à ne pas retenir.

Cependant, certains types d'essais ont quand même eu lieu. Wassman et Ramus (1973) rapportent que sur la côte est des États-Unis, des pastilles de chaux vive ont été disséminées. La réaction avec l'eau crée de la chaux hydratée qui brûle tout ce qui entre en contact avec elle. En se refermant, les mollusques ne seraient pas affectés par la chaux. Les auteurs ne donnent cependant pas les résultats obtenus.

2.5.2 Méthodes de traitement des mollusques d'élevage

Fralick (1970) suggère de tremper les huîtres pendant deux minutes dans une solution de 16,7 % «Chlorox bleach». Toutefois, cette méthode ne serait pas conseillée pour d'autres mollusques tels que les moules car ces dernières se referment de façon moins hermétique que les huîtres (N. MacNair, Prince Edward Island Fisheries & Aquaculture, Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard, comm. pers.). Loosanoff (1975) a désinfecté avec succès des huîtres par immersion dans une solution de mercure suivi par un traitement à l'aide d'un fongicide organique. Par la suite, les huîtres ont été lavées à l'eau douce et trempée à nouveau dans une faible solution de sel de cuivre. Une immersion de cinq minutes dans une solution de 4 % de chaux hydratée suivi d'un séchage à l'air de 2 à 24 heures et une immersion de 15 minutes dans une saumure saturée (300 g de sel / l) suivi d'un séchage de 24 heures sont deux autres méthodes qui ont été testées sur les huîtres (MacNair et Smith 1999, MacNair 2002). Cependant, les résultats obtenus par ces deux méthodes ne sont pas constants. D'autres tests de décontamination sur des moules sont présentement à l'essai (N. MacNair, Prince Edward Island Fisheries & Aquaculture, Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard, comm. pers).

3. CAMPAGNES EXPLORATOIRES AUX ÎLES-DE-LA-MADELEINE : MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS

3.1 ÉCHANTILLONNAGE 2004

Au cours de la mission exploratoire de 2004, 11 stations ont été visitées (Figure 3, Tableau 1). À l'exception des stations I, J et K où des transects quantitatifs ont été réalisés, les résultats obtenus en 2004 sont qualitatifs. La marina de Havre-Aubert (A) a été explorée en apnée, le quai de Grosse-Île (E) et la baie Clarke (F) ont été explorés en

marchant sur le littoral. Toutes les autres stations ont été explorées en plongée sous-marine. Pour les transects I, J et K, les plants de *Codium* étaient dénombrés le long d'un corridor de 4 à 5 mètres de largeur et de longueur variable (Tableau 1). Quelques spécimens de *Codium* dérivant à la surface ou près du fond ont été répertoriés près de l'Île aux Loups (Stations G et I) et au large de la mine Seleine (Station K). Des densités importantes (section de la plage complètement recouverte) de *Codium* ont été observées sur la plage bordant la baie Clarke (Station F). Les seuls spécimens fixés étaient situés sur les piliers du quai de la mine Seleine (Station D). Aucun spécimen de *Codium* n'a été observé aux stations A, B, C, E, H, I et J.

3.2 ÉCHANTILLONNAGE 2005

Étant donné que les spécimens de *Codium* observés en 2004 avaient tous été répertoriés dans la région du havre de la Grande Entrée et que des densités potentiellement importantes de *Codium* avaient été observées dans la baie Old Harry en juin 2005 lors d'une mission d'échantillonnage pour le crabe vert (N. Paille, Ministère des Pêches et des Océans, Mont-Joli, Québec, comm. pers.), les principaux efforts d'échantillonnage se sont concentrés dans ces secteurs en 2005. Quelques visites ont tout de même été effectuées dans les secteurs de Havre-Aubert et de Havre-aux-Maisons. Les résultats présentés ci-dessous sont regroupés en fonction de la méthode d'échantillonnage utilisée soit : 1) les transects en plongée sous-marine et en apnée ; 2) les stations en plongée sous-marine ; 3) les transects littoraux et ; 4) l'inspection des piliers du quai de la mine Seleine.

3.2.1 Les transects en plongée sous-marine et en apnée

Les plants de *Codium* ont été dénombrés le long de 18 transects de deux mètres (largeur du transect fixée par l'utilisation d'une tige de 2 mètres par un plongeur) à quatre mètres (2 plongeurs) de largeur effectués en plongée sous-marine dans le havre de la Grande Entrée (Figure 4, Tableau 2). La profondeur des stations échantillonnées variait entre 1,5 et 7,6 mètres et la surface parcourue, de 607 à 1324 m^2. Des spécimens de *Codium* ont été observés dans 14 des 18 transects effectués. Les densités de *Codium* dans l'ensemble des transects étaient très faibles et variaient de 0 à 30,3 x 10^{-3} plants de *Codium*/m^2.

Trois autres transects ont été réalisés dans la baie Clarke et quatre autres dans la baie Old Harry (Figure 5, Tableau 3). Pour l'ensemble des transects réalisés dans ces deux baies, les densités de *Codium* variaient de 3,6 à 50,2 × 10^{-3} plants de Codium/ m^2.

3.2.2 Les stations en plongée sous-marine

Dix-huit stations ont été échantillonnées dans la baie Old Harry (Figure 6). Sur 12 d'entre elles, le pourcentage de recouvrement occupé par *Codium* a été déterminé. À chacune de ces stations, cinq à dix quadrats de 0,25 m^2 (contenant 100 points équidistants) ont été choisis de façon aléatoire. Le pourcentage de recouvrement de *Codium* a été déterminé en dénombrant le nombre d'intersections dans les quadrats où des tiges de *Codium* étaient

présentes (Tableau 4). Près de la moitié des stations échantillonnées à l'aide de quadrats a montré des recouvrements moyens (%) supérieurs à 20 %, jusqu'à un maximum de 72 % (Figure 7).

Six autres stations ont été visitées dans la région du havre de la Grande Entrée (Figure 8). À chacune de ces stations, les plongeurs ont parcouru des distances variant de 500 m à un kilomètre. Le Tableau 5 présente les résultats des observations pour l'ensemble de ces stations. Des concentrations importantes de *Codium* (rochers complètement recouverts par les plants) ont été observées dans le secteur du pont de Grosse-Île et ses environs (S20 et S21).

3.2.3 Les transects littoraux

Tel que réalisé par Garbary *et al.* (1997), des observations supplémentaires ont été effectuées en marchant le long du littoral dans les régions de la baie Old Harry, du Bassin aux Huîtres, de la lagune de Havre-aux-Maisons et de l'Île du Havre Aubert (Figures 9, 10 et Tableau 6). De nombreux plants de *Codium* ont été observés sur les rivages dans la région d'Old Harry. La découverte d'un plant sur la rive dans le secteur de la lagune de Havre-aux-Maisons (L4 ; Figure 9) constitue un élément d'inquiétude supplémentaire face au pouvoir de dispersion de cette espèce. Aucun spécimen n'a été répertorié dans le Bassin aux Huîtres (L6, L7 ; Figure 9) et dans le secteur de Havre-Aubert (Figure 10).

3.2.4 Le quai de la mine Seleine

Trente-six piliers (9 paires du côté est du quai et 9 paires du côté ouest) du quai de la mine Seleine ont été échantillonnés par deux plongeurs. Chaque plongeur échantillonnait un pilier de chacune des paires. Le nombre de plants de *Codium* fixés ainsi que leur profondeur sur le pilier ont été notés (Tableau 7).

Les plants de *Codium* fixés sur les piliers du quai de la mine Seleine se situaient dans la zone la moins profonde (sur les sept premières paires de piliers), à une profondeur maximale de deux mètres. Tous les plants observés sur les piliers étaient fixés sur le côté extérieur des piliers et la grande majorité des plants se situaient sur les piliers du côté est du quai. Un nombre maximal de 60 plants a été dénombré sur un seul pilier.

Il est à noter que de nombreux spécimens de *Codium* ont également été observés sur l'enrochement qui mène au quai de la mine Seleine. Il s'agit d'une situation différente de celle de 2004 alors qu'aucun *Codium* n'avait été observé à ce même endroit.

4. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les résultats obtenus en 2005 montrent que *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* est établi dans le havre de la Grande Entrée aux Îles-de-la-Madeleine. Les principaux peuplements répertoriés se situent dans la baie Old Harry ainsi qu'aux environs du pont de Grosse-Île et de la mine Seleine dans des zones peu profondes (<2 mètres). Au moment de la

présente étude, aucun spécimen de *Codium* n'avait été répertorié dans les autres secteurs visités, à l'exception d'un spécimen non fixé dans la lagune de Havre-aux-Maisons. Cependant, en 2006, *Codium* a été observé au quai du Cap-Vert dans la lagune de Havre-aux-Maisons, à la Pointe-Basse, à la Dune du sud, dans la baie du Havre-aux-Basques et dans la baie du Bassin (Mario Déraspe et Selma Pereira, comm. pers.). Ces observations semblent supporter le fort potentiel de dispersion de cette espèce. Diverses hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer l'apparition de *Codium* aux Îles-de-la-Madeleine. Les vecteurs d'introduction potentiels sont les déversements d'eaux de lest, les transferts de mollusques contaminés pour l'aquaculture, la pêche commerciale utilisant des engins de pêche encrassés (contaminés) par *Codium*, la navigation commerciale et de plaisance (salissures) de même que les courants. Les résultats des analyses génétiques permettront de vérifier si la souche présente aux Îles est la même que celle de la côte est des États-Unis et du sud du Golfe (Île-du-Prince-Édouard, Nouveau-Brunswick et Nouvelle-Écosse), ce qui est fort plausible étant donné la proximité de ces régions.

L'établissement de *Codium* aux Îles-de-la-Madeleine montre que cette région offre un environnement propice à la survie et à la reproduction de cette espèce. Les résultats de plusieurs études ont démontré que son taux de dispersion élevé, sa croissance rapide, sa tolérance à une vaste gamme de conditions environnementales et sa flexibilité physiologique dans un environnement qui change constamment confère à *Codium* le titre d'espèce envahissante à haut taux de succès. Une des principales inquiétudes concernant l'introduction de *Codium* aux Îles-de-la-Madeleine serait une réduction des zostéraies qui constituent des pouponnières pour plusieurs espèces de poissons, crustacés et mollusques (Heck *et al.* 2003). Il est donc impératif de mettre en place le plus rapidement possible un programme de recherche visant à mieux comprendre les impacts de cette espèce sur les communautés indigènes. Il est également important d'identifier l'ensemble des secteurs affectés, d'estimer l'abondance de l'espèce et suivre sa progression. Le MPO a débuté en 2006 un projet de recherche qui vise à déterminer l'influence de *Codium* sur les communautés de zostères et les espèces associées aux Îles-de-la-Madeleine. Un programme de suivi basé sur l'utilisation d'images globales (p.ex. : images spectrales) devrait être envisagé comme l'option la plus adéquate pour faire un suivi de l'espèce (Ripley *et al.* 2002, P. Gagnon, Dalhousie University and Hyperspectral Data International, Halifax, Nouvelle-Écosse, comm. pers.). D'autre part, la prévention demeure encore la méthode la plus efficace pour éviter l'introduction de *Codium* et ralentir sa dispersion dans l'environnement. Il est donc recommandé d'intensifier les efforts de sensibilisation et d'information déjà entrepris auprès de la population locale, des pêcheurs, des aquaculteurs et des touristes afin de les inciter à adopter de bonnes pratiques et ainsi éviter le plus possible d'accélérer la dispersion de *Codium* vers les autres plans d'eau de l'archipel et/ou d'autres régions non infestées.

Certains règlements visent à contrôler certaines activités humaines afin de réduire les risques d'introduction d'espèces envahissantes. Les autorités responsables doivent prendre toutes les dispositions nécessaires pour assurer leur application.

> Tel que prescrit par le *Règlement de pêche* (dispositions générales) issu de la *Loi sur les pêches* (1985), toutes les demandes de transferts pour l'aquaculture doivent être autorisées par le biais d'un permis dont l'émission nécessite la réalisation préalable d'une analyse de risque par un comité scientifique. La

question d'introduction potentielle d'espèce envahissante est prise en compte dans cette analyse. En ce qui concerne *Codium*, il est fortement suggéré de ne pas transférer des mollusques provenant d'un milieu colonisé par *Codium* vers une région non affectée.

Selon le *Règlement sur le contrôle et la gestion de l'eau de ballast* issu de la *Loi de 2001 sur la marine marchande* (2001), qui est en vigueur depuis juin 2006, tous les navires en provenance de l'étranger doivent soit traiter leurs eaux de lest et les sédiments accumulés dans les réservoirs, les décharger dans une installation de réception, les garder à bord, ou encore, procéder à des échanges. Ces derniers doivent être effectués à plus de 200 milles marins au large des côtes dans des eaux d'au moins 2000 m de profondeur ou dans des zones auxiliaires d'échange approuvées et identifiées dans le règlement.

En résumé, un meilleur contrôle des vecteurs potentiels d'introduction et la mise sur pied de programmes de suivi et de recherche sont essentiels pour limiter les risques de dispersion et mieux comprendre et/ou prédire les conséquences écologiques et économiques inhérentes à la présence de cet envahisseur.

5. REMERCIEMENTS

Ce projet a été financé par les fonds spéciaux du programme sur les espèces envahissantes du MPO (Programme EAE). Nous tenons sincèrement à remercier Philippe Archambault et Michel Gilbert qui ont participé à l'échantillonnage de même que C. Cyr et Louise Gendron qui ont accepté de réviser ce rapport et fourni des commentaires judicieux. Nous remercions également Roger Simon, Jean Richard et Selma Pereira du bureau de secteur des Îles-de-la Madeleine (MPO) pour leur support logistique (entrepôt, embarcation) lors de la mission d'échantillonnage.

6. BIBLIOGRAPHIE

Adams, T., P. Levin et J. Coyer. 1995. The significance of algal habitat and food availability for recruitment of a temperate reef fish. *In* Benthic Ecology Meeting. Edited by J.P. Grassle, A. Kelsey, E. Oates et P.V. Snelgrove. Rutgers-the State University, New Brunswick.

Bulleri, F. et L. Airoldi. 2005. Artificial marine structures facilitate the spread of a non-indigenous green alga, *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* in the north Adriatic Sea. J. Appl. Ecol. 42:1063-1072

Bégin, C. et R.E. Scheibling. 2003. Growth and survival of the invasive green alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* in the pools on a rocky shore in Nova Scotia. Bot. Mar. 46: 404-412.

Bird, C.J., M.J. Dadswell et D.W. Grund. 1993. First record of the potential nuisance alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* (Chlorophyta, Caulerpales) in Atlantic Canada. Proc. N.S. Inst. Sci. 40: 11-17.

Bouck G.B. et E. Morgan. 1957. The occurrence of *Codium* in Long Island waters. J. Torrey Bot. Soc. 84: 384-387.

Campbell, S.T. 1999. Occurrence of *Codium fragile* subsp. *tomentosoides* (Chlorophyta: bryopsidales) in marine embayments of southeastern Australia. J. Phycol. 35: 938-940.

Carlton, J.T. et J.A. Scanlon. 1985. Progression and dispersal of an introduced alga: *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* (Chlorophyta) on the Atlantic coast of North America. Bot. Mar. 28: 155-165.

Castilla, J.C., M. Uribe, N. Bahamonde, M.Clarke, R. Desqueyroux-Faùndez, I. Kong, H. Moyano, N. Rozbaczylo, B. Santelices, C. Valdovinos et P. Zavala. 2005. Down under the southeastern Pacific: marine non-indigenous species in Chile. Biological Invasions 7: 213-232.

Chapman, A.S. 1999. From introduced species to invader: what determines variation in the success of *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* (Chlorophyta) in the North Atlantic Ocean? Helgol. Meeresunters 52: 277-289.

Chapman, A. S., A.R. Chapman et J. Lindey. 2002. Testing for effects of native kelp canopy and understorey turf on survival and growth of invading *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*. 2002. Conference abstract, MIT Sea Grant, Center for Coastal Resources.
http://massbay.mit.edu/exoticspecies/conferences/2001/abstracts02.html

Coffin, G.W. et A.P. Stickney. 1967. *Codium* enters Maine waters. Fish. Bull. 66: 159-161.

Coleman, A.W. 1996. DNA analysis methods for recognizing species invasion: the exemple of *Codium*, and generally applicable methods for algae. Hydrobiol. 326/327: 29-34.

Coolidge Churchill, A.C. et H.W. Moeller. 1972. Seasonal patterns of reproduction in New York. Populations of *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* (Van égoor) Silva. J. Phycol. 8: 147-152.

Dromgoole, F.I. 1975. Occurrence of *Codium fragile* subspecies *tomentosoides* in New Zealand waters. NZ J. Mar. Freshw. Res. 9: 257-264.

Dromgoole, F.I. 1982. The buoyant properties of *Codium*. Bot. Mar. 25: 391-397.

Elner, R.W. et R.L. Vadas. 1990. Inference in ecology: the sea urchin phenomenon in the northwest Atlantic. Am. Nat. 136: 108-125.

EPA (Environment Protection Authority). 1999. Exotic marine organism. *Codium fragile* subspecies *tomentosoides* (Green sea fingers). EPA Information Bulletin, publication 637. http://www.epa.vic.gov.au (consultation du site : janvier 2006)

Fralick, R.A. 1970. An ecological study of *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* in New England. M. Sc. Thesis, University of New Hampshire.

Fralick R.A. et A.C. Mathieson. 1972. Winter fragmentation of *Codium fragile* (Suringar) Hariot ssp. *tomentosoides* (Van Goor) Silva (Chlorophyceae, siphonales) in New England. Phycologia 11: 67-70.

Fralick R.A. et A.C. Mathieson. 1973. Ecological studies of *Codium fragile* in New England, USA. Mar. Biol. 19: 127-132.

Freeman, A. et L.D. Smith. 1999. Grazing pressure on endemic and introduced subspecies of *Codium fragile*. *In* Proceeding of the First National Conference of Marine Bioinvasions, January 24-27, 1999. Edited by J. Pederson. Massachusetts Institute of technology, Cambridge, p. 175-176.

Garbary, D.J., H. Vandermeulen et K.Y. Kim. 1997. *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* (Chlorophyta) invades the gulf of St. Lawrence, Atlantic Canada. Bot. Mar. 40: 537-540.

Garbary, D.J., S.J. Fraser, C. Hubbard et K.Y. Kim. 2004. *Codium fragile*: rhizomatous growth in the Zostera thief of eastern Canada. Helgol Mar. Res. 58: 141-146.

Garbary, D.J. et C.B. Jess. 2000. Current status of the invasive green alga *Codium fragile* in eastern Canada. J. Phycol. 36: 23-24.

Goff, L.J., L. Liddle, P.C. Silva, M. Voytek et A.W. Coleman. 1992. Tracing species invasion in *Codium*, a siphonous green alga, using molecular tools. Am. J. Bot. 79(11): 1279-1285.

Hanisak, M.D. 1979. Growth patterns of *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* in response to temperature, irradiance, salinity, and nitrogen source. Mar. Biol. 50: 319-332.

Harris, L.G. et M.C. Tyrrell. 2001. Changing community states in the Gulf of Maine: synergism between invaders, overfishing and climate change. Biological Invasions 3:9-21

Harris, L.G. et A.C. Jones. 2005. Temperature, herbivory and epibiont acquisition as factors controlling distribution and ecological role of an invasive seaweed. Biological Invasions 7: 913-924.

Heck Jr. K.L., G. Hays et R.J. Orth. 2003. Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. Mar. Ecol. Prog. Ser. 253: 123-136.

Hubbard, C.B. et D.J. Garbary. 2002. Morphological variation of *Codium fragile* (Chlorophyta) in eastern Canada. Bot. Mar. 45: 476-485.

Kapraun, D.F. et D.J. Martin. 1987. Karyological studies of three species of *Codium* (Codiales, Chlorophyta) from coastal North Carolina. Phycol. 26(2): 228-234.

Kapraun, D.F. et D.J. Martin. 1988. Nuclear DNA and karyotype variation in species of *Codium* (Codiale, Chlorophyta) from the North Atlantic. Phycol. 27(2): 273-282.

Kusakina, J. 2004. Morphological and molecular variation in *Codium fragile*, an invasive green macroalga in Atlantic Canada. MSc thesis, Acadia University, Wolfville.

Kusakina, J., M. Snyder, D.N. Kristie et M.J. Dadswell. 2006. Morphological and molecular evidence for multiple invasions of *Codium fragile* in Atlantic Canada. Bot. Mar. 49: 1-9.

Levin, P.S., J.A. Coyer, R. Petrik et T.P. Good. 2002. Community-wide effects of non indigenous species on temperate rocky reefs. Ecology 83: 3182-3193.

Lewey, S.A. 1976. Studies on the brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt in Britain. MPhil thesis, Portsmouth Polytechnic.

Leweys S.A. et E.B.G. Jones 1977. The effect of aquatic herbicides on selected marine algae. J. Phycol. 12: 40.

Locke, A., G.J. Klassen, K. Ellis, J.M. Hanson, D. Garbary and N. MacNair. 2003. Effects of recent invasions in the southern Gulf of St. Lawrence: Predictions and early observations. *In* Proceedings of the 11th International Aquatic Invasive Species Conference, 25-28 February 2002, Edited by V.A. Alexandra., pp. 143-153.

Loi de 2001 sur la marine marchande. 2001. http://laws.justice.gc.ca/fr/C-10.15/index.html (consultation du site : janvier 2006)

Loi sur les pêches. 1985. http://laws.justice.gc.ca/fr/f-14/texte.html (consultation du site : janvier 2006)

Loosanoff, V.L. 1975. Introduction of *Codium* in New England Waters. Fish. Bull. 73: 215-218.

MacAndrew, J. 2003. The Cunner: lobster threat or fisherman's nuisance? Atlantic Fisherman 19(2): 9.

MacNair, N. 2002. *Codium fragile* treatment trials. AquaInfo, aquaculture notes. Fisheries, Aquaculture and Environment. Prince Edward Island, Canada. 4 p.

MacNair, N et M. Smith. 1999. Investigations into treatments to control fouling organisms affecting oyster production. J. Shellfish. Res. 18: 331.

Malinowski, K.C. 1974. *Codium fragile* – The ecology and population biology of a colonizing species. Thèse de doctorat, Yale University, New Haven, 135 p.

Malinowski, K.C et J. Ramus. 1973. Growth of the green alga *Codium fragile* in a Connecticut estuary. J. Phycol. 9: 102-110.

Parent, S. 1990. Dictionnaire des sciences de l'environnement. Broquet Inc., Ottawa. 748 p.

Prince, J.S. et W.G. LeBlanc. 1992. Comparative feeding preference of *Strongylocentrus droebachiensis* (Echinoidea) for the invasive seaweed *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* (Chlorophyceae) and four other seaweeds. Mar. Biol. 113: 159-163.

Prince, J.S. et C.D. Trowbridge. 2004. Reproduction in the green macroalga *Codium* (Chlorophyta): characterization of gametes. Bot. Mar. 47: 461-470.

Prince William Sound Regional Citizens' Adivisory Council. 2004. Non-indigenous aquatic species of Concern for Alaska. Dead man's finger, *Codium fragile* (ssp. *tomentosoides*). Fact Sheet 5, 2 p. http://www.pwsrcac.org/docs/d0015700.pdf

Provan, J., S. Murphy et C.A. Maggs. 2005. Tracking the invasive history of the green alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*. Mol. Ecol. 14: 189-194.

Ramus, J. 1972. Differenciation of the green alga *Codium fragile*. Am. J. Bot. 59(5): 478-482.

Ripley, H., W. Jones et R. Scheibling. 2002. Mapping invasive species. Assessing the impact of species invasions on coastal ecosystems using remote sensing.

http://waterobserver.org/backscatter/issue/2002-fall-winter.html (consultation du site : janvier 2006)

Scheibling, R. E. 1986. Increased macroalgal abundance following mass mortalities of sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*) along the Atlantic coast of Nova Scotia. Oecologia 68: 186-198.

Scheibling, R.E. 2000. Species invasions and community change threaten the sea urchin fishery in Nova Scotia. L'atelier sur la coordination de la recherche sur l'oursin vert au Canada Atlantique. http://crdpm.cus.ca?OURSIN/rapide.htmT (consultation du site : janvier 2006)

Scheibling, R.E. 2001. Recent invaders alter the kelp bed ecosystem off Nova Scotia Second International Conference on Marine Bioinvasions, New Orleans, p. 122.

Scheibling, R.E. 2003. Marine Invasive Species - *Codium*. Vol. 2003

Scheibling, R. et S.X. Anthony. 2001. Feeding, growth and reproduction of sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*) on single and mixed diets of kelp (*Laminaria* spp.) and the invasive alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*. Mar. Biol. 139: 139-146.

Scheibling, R.E., A.W. Hennigar et T. Balch. 1999. Destructive grazing, epiphytism, and disease: the dynamics of sea urchin-kelp interactions in Nova Scotia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 56: 2300-2314.

Schmidt, A.L. et R.E. Scheibling. A comparison of epifauna and epiphytes on native kelps (*Laminaria* species) and an invasive alga (*Codium fragile* spp. *tomentosoides*) in Nova Scotia, Canada. Bot. Mar. 49: 315-350.

Searles R.B., M.H. Hommersand et C.D. Amsler. 1984. The occurrence of *Codium fragile* subsp. *tomentosoides* and *C. taylorii* (Chlorophyta) in North Carolina. Bot. Mar. 27: 185-187.

Silva, P.C. 1979. The benthic algal flora of central San Francisco Bay. *In* San Francisco Bay the urbanized estuyary. Edited by T.J. Conomos. Pacific Division of the American Association for the Advancement of Sciences, San Francisco. pp. 287-345.

Steele, R.L. 1975. Growth requirements of Enteromorpha compressa and *Codium fragile*. Proceedings: biostimulation / and / nutrient assessment workshop. Ecol. Res. Ser. 660/3-75-034: 213-225.

Trowbridge, C.D. 1998. Ecology of the green macroalga *Codium fragile* (Suringar) Hariot 1889: Invasive and non-invasive subspecies. Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. 36: 1-64.

Trowbridge, C.D. 1999. An assessment of the potential spread and options for control of the introduced green macroalga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* on Australian shore. CRIMP consultancy Report, CSIRO Marine Research, Hobart. vi + 43 p.

Trowbridge, C.D. 2002. Local elimination of *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*: indirect evidence of sacoglossan herbivory? J. Mar. Biol. Ass. UK 82: 1029-1030.

Trowbridge. C.D. et C.D. Todd. 2001. Host-plant change in marine specialist herbivores: Ascoglossan sea slugs on introduced macroalgae. Ecol. Monogr. 71:219-243

Tyrell, M.C. 2005. Gulf of Maine marine habitat primer. Gulf of Maine Council on the Marine Environment, vi + 54 pages. http://www.gulfofmaine.org (consultation du site : janvier 2006)

Wassman, R. et J. Ramus. 1973. Seaweed Invasion. Nat. Hist. 82: 24-36.

7. TABLEAUX

Tableau 1. Résultats des observations de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* pour les stations et transects effectués aux Îles-de-la-Madeleine en 2004. L'emplacement des stations et des transects apparaît à la Figure 3.

Stations et transects	Localisation	Méthodes d'échantillonnage	Observations
A	Marina de Havre-Aubert	Apnée	• Aucun *Codium*
B	Baie du Bassin (Havre-Aubert)	Plongée sous-marine	• Aucun *Codium* • Secteur avec capteurs de naissains de moule
C	Quai CTMA (Cap-aux-Meules)	Plongée sous-marine	• Aucun *Codium*
D	Mine Seleine (Près de Grosse Île)	Visite de 50 piliers du quai de la mine Seleine en plongée sous-marine.	• Plusieurs spécimens en suspension en eau peu profonde près du quai de la mine. • 3 *Codium* fixés sur les piliers du quai
E	Quai de Grosse Île	Marche autour du quai (enrochement)	• Aucun *Codium* dans les zones peu profondes
F	Pont de la baie Clarke (Île de l'Est)	Marche sur la plage	• Plusieurs *Codium* sur la plage avec des racines de zostère retenues par le crampon • Beaucoup de Zostères mortes sur la plage • Beaucoup de *Codium* à travers les plants de zostères morts
G	Île aux Loups (havre de la Grande Entrée)	Plongée sous-marine	• Quelques *Codium* non fixés (à la dérive)
H	Bassin aux Huitres (Grande-Entrée)	Plongée sous-marine	• Aucun *Codium* • Peuplement de *Zostera marina*
I	Île aux Loups (havre de la Grande Entrée)	Transect de 840 m^2 (210 m × 4 m) en plongée sous-marine	• Aucun *Codium* en profondeur. • Des spécimens de grande taille sont retrouvés flottant en surface
J	À l'est de l'île du Chenal (havre de la Grande Entrée)	Transect de 676 m^2 (169 m × 4 m) en plongée sous-marine	• Aucun *Codium* • Tapis de zostères mortes
K	Au large de la mine Seleine (havre de la Grande Entrée)	Transect de 2680 m^2 (536 m × 5 m) en plongée sous-marine	• 7 plants de *Codium* non fixés (à la dérive)

Tableau 2. Nombre de plants de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* par mètre carré et autres observations qualitatives réalisés le long des transects effectués dans le havre de la Grande Entrée aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. L'emplacement des transects apparaît à la Figure 4.

No transect	Surface (m^2)	Nb *Codium* observés	Nb *Codium* / m^2 ($\times 10^{-3}$)	Autres observations
T1	1234	6 non fixés	4,9	• Fond de vase
T2	976	3 non fixés	3,1	• Fond de vase
T3	730	14 non fixés	19,2	• Fond de vase
T4	771	0	0	• Fond de vase
T5	1011	6 non fixés	5,9	• Fond de vase
T6	1254	5 non fixés	4	• Fond de vase (+ dure)
T7	719	0	0	• Fond de sable avec de la zostère
T8	1120	34 non fixés	30,3	• Fond de vase
T9	1311	13 non fixés	9,9	• Fond de vase
T10	1324	14 non fixés	10,6	• Fond de vase
T11	657	8 fixés 4 non fixés	Fixés : 12,2 Non fixés : 6,1 Total : 18,3	• Forte abondance de zostères • Profondeur maximale : 2,5 mètres
T12	863	1 fixé 3 non fixés	Fixés : 1,1 Non fixés : 3,5 Total : 4,6	• Aucune observation notée
T13	784	4 fixés 18 non fixés	Fixés : 5,1 Non fixés : 22,9 Total : 28,1	• Fond sablonneux avec peu de zostères • Beaucoup de zostères mortes couvertes d'une algue verte • Profondeur maximale : 3 mètres
T14	679	1 non fixé	1,5	• Champ de zostère
T15	607	4 non fixés	6,6	• Présence de zostère • Profondeur maximale : 3 mètres
T16	704	0	0	• Fond de boue avec un peu de zostère • Profondeur du transect : 5 à 6 mètres
T17	653	0	0	• Fond de boue • Profondeur maximale : 5 mètres
T18	634	8 non fixés	12,6	• Spécimens présents au début du transect seulement et suivis de zostères mortes • Profondeur du transect : 3 à 4,5 mètres

Tableau 3. Nombre de plants de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* par mètre carré observés le long des transects effectués dans la baie Clarke et la baie Old Harry aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. L'emplacement des transects est présenté à la Figure 5.

Localisation	**Transect**	**Surface totale (m^2)**	**Nb *Codium***	**Nb *Codium* / m^2 ($\times 10^{-3}$)**
Baie Clarke	T19	2536	17 fixés	6,7 fixés
	T20 et T21 (combinés)	3833	13 fixés 1 non fixé	3,4 fixés 0,3 non fixés Total : 3,7
Baie Old Harry	T22, T23, T24 et T25 (combinés)	1613	49 fixés 32 non fixés	30,4 fixés 19,8 non fixés Total : 50,2

Tableau 4. Recouvrement (%) par *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* et observations aux stations (S) effectuées dans la baie Old Harry aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. Les nombres entre parenthèses correspondent au nombre de tiges observées à l'intérieur des quadrats. L'emplacement des stations apparaît à la Figure 6.

Stations	Observations				
S1	0% *	0% *	0% *	0% *	0% *
	0% *	0% *	0% *	0% *	3% (2)
S2	Presque pas de *Codium*				
S3	Début du peuplement de *Codium*				
S4	0% *	0% *	13% (1)	27% (2)	30% (10)
	0% *	0% *	2% (1)	35% (15)	48% (4)
S5	57% (12)	20% (7)	3% (1)	1% (0)	17% (7)
	35% (6)	13% (4)	8%(3)	5% (3)	7% (1)
S6	25 %				
S7	27%				
S8	1% (0)	26% (10)	10% (4)	2% (0)	26% (2)
	20% (2)	21% (10)	43% (9)	100% (9)	0% *
S9	7%	13%	19%	0%	16%
S10	21%	22%	55%	13%	51%
S11	0%	7%	21%	22%	26%
S12	Limite du peuplement de *Codium*. Au-delà : 100% zostère. Profondeur : 1 mètre.				
S13	Limite du peuplement de *Codium*. Profondeur : 1 mètre.				
S14	11% (5)	96% (16)	26% (4)	20% (6)	34% (6)
	76% (9)	18% (3)	10% (2)	0% *	0% *
S15	4%	6%	5%	0%	31%
S16	75%	79%	85%	83%	38%
S17	31% (12)	38% (10)	84%		
S18	80-100%				

*** 100% de zostère**

Tableau 5. Observations réalisées aux stations (S) situées dans le havre de la Grande Entrée et la baie de la Grosse-Île aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. L'emplacement des stations apparaît à la Figure 8.

Stations	Observations
S19	• Aucun *Codium*
S20	• Beaucoup de *Codium* (dénombrement complet impossible). • Recouvrement de 0 à 100%.
S21	• Concentrations importantes sur les roches qui bordent le chenal sous le pont et aussi dans le chenal. • De nombreux plants de *Codium* ont été observés sur les plages de chaque côté du pont de Grosse-Île.
S22	• 17 *Codium* fixés dont une dizaine sur des moules et des petits plants sur un morceau de bois. Nombreux plants non fixés. • Abondance inférieure à S20 et S21
S23	• Aucun *Codium*
S24	• Aucun *Codium*

Tableau 6. Observations de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* le long des transects littoraux (L) effectués dans la baie Old Harry, la lagune de Havre-aux-Maisons, le Bassin aux Huîtres et l'Île du Havre Aubert aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. L'emplacement des transects apparaît aux Figures 9 et 10.

Localisation	Transect littoral	Distance (m)	Observations
Baie de Old Harry	L1	95	• Forte accumulation sur le rivage
	L2	110	• Forte accumulation sur le rivage
	L3	80	• Forte accumulation sur le rivage
Havre-aux-Maisons	L4	575	• Un plant de *Codium* non fixé dans l'eau peu profonde
	L5	1841	• Aucun *Codium*
Bassin aux Huîtres	L6	874	• Aucun Codium • Beaucoup de zostères mortes et en décomposition
	L7	2219	• Aucun *Codium*
Île du Havre-Aubert	L8	172	• Aucun *Codium*
	L9	2471	• Aucun *Codium* • Beaucoup de zostères mortes

Tableau 7. Observations de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* sur neuf paires de piliers situées sur les côtés est et ouest du quai de la mine Seleine aux Îles-de-la-Madeleine en 2005

Paire de piliers	No pilier	Côté est du quai	Côté ouest du quai
1ère	Pilier 1	• 60 plants, 1 à 2 mètres de profondeur	• Aucun *Codium*
	Pilier 2	• 5 plants	• 1 plant
2ème	Pilier 1	• 20 plants, 1 à 2 mètres de profondeur	• Aucun *Codium*
	Pilier 2	• 1 plant de *Codium*	• Aucun *Codium*
3ème	Pilier 1	• 28 plants, 1 à 2 mètres de profondeur	• 5 plants à 2 mètres de profondeur
	Pilier 2	• Aucun *Codium*	• 3 plants
4ème	Pilier 1	• 6 plants, 1 mètre de profondeur	• Aucun *Codium*
	Pilier 2	• Aucun *Codium*	• Aucun *Codium*
5ème	Pilier 1	• 21 plants, 1 mètre de profondeur	• 3 plants à 1 mètre de profondeur
	Pilier 2	• 1 plant	• Aucun *Codium*
6ème	Pilier 1	• Aucun *Codium*	• Aucun *Codium*
	Pilier 2	• Aucun *Codium*	• Aucun *Codium*
7ème	Pilier 1	• Aucun *Codium*	• Aucun *Codium*
	Pilier 2	• 1 plant	• 16 plants, 1.5 mètre de profondeur
8ème	Pilier 1	• Aucun *Codium*	• Aucun *Codium*
	Pilier 2	• Aucun *Codium*	• Aucun *Codium*
9ème	Pilier 1	• Aucun *Codium*	• Aucun *Codium*
	Pilier 2	• Aucun *Codium*	• Aucun *Codium*

8. FIGURES

Figure 1. Photographies de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*.

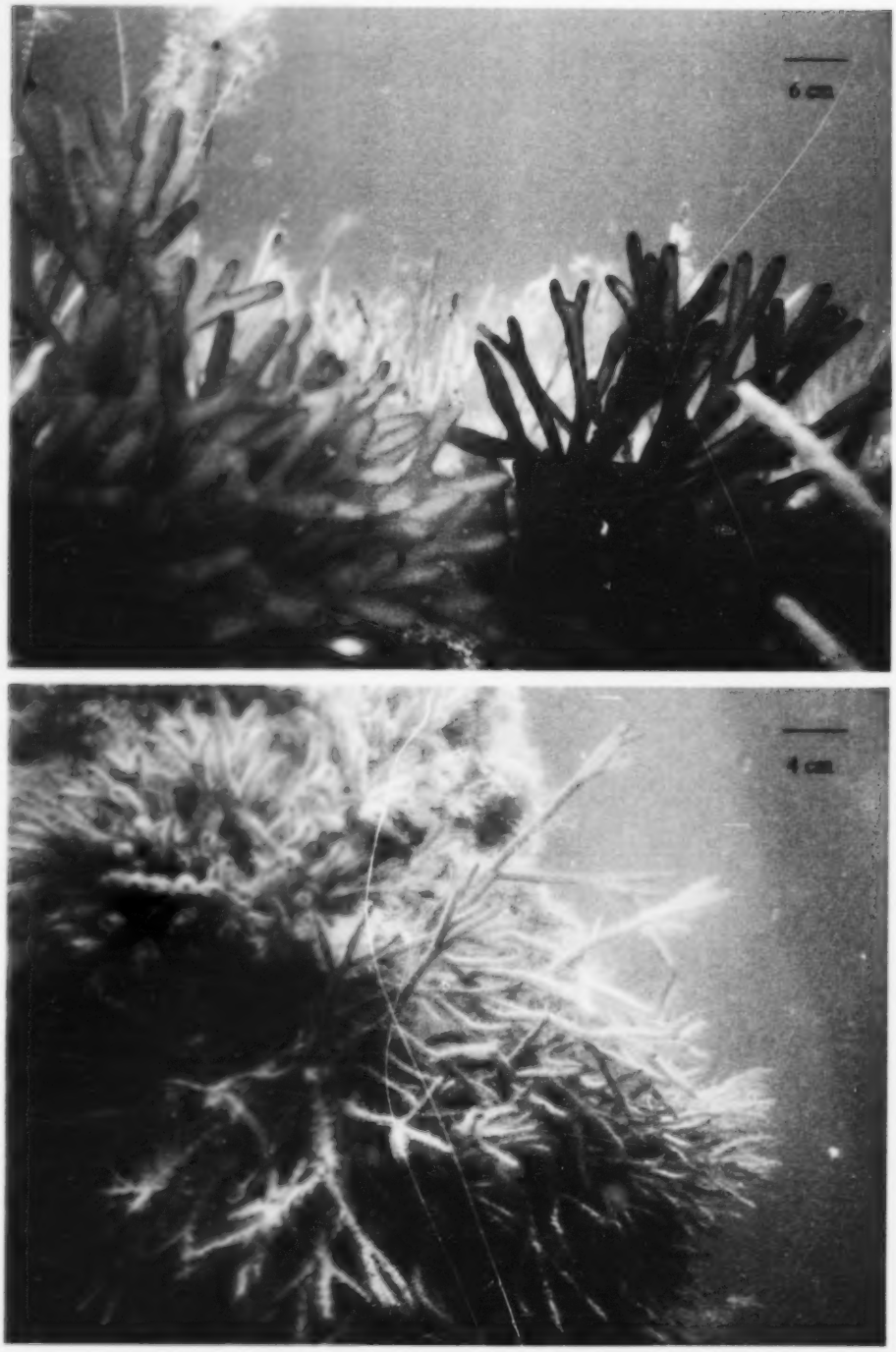

Figure 2. Reproduction asexuée et cycle de vie de *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*. Les numéros se réfèrent au texte : 1) Parthénogenèse ; 2) Stade vauchérioïde ; 3) Différenciation du thalle ; 4) Reproduction végétative.

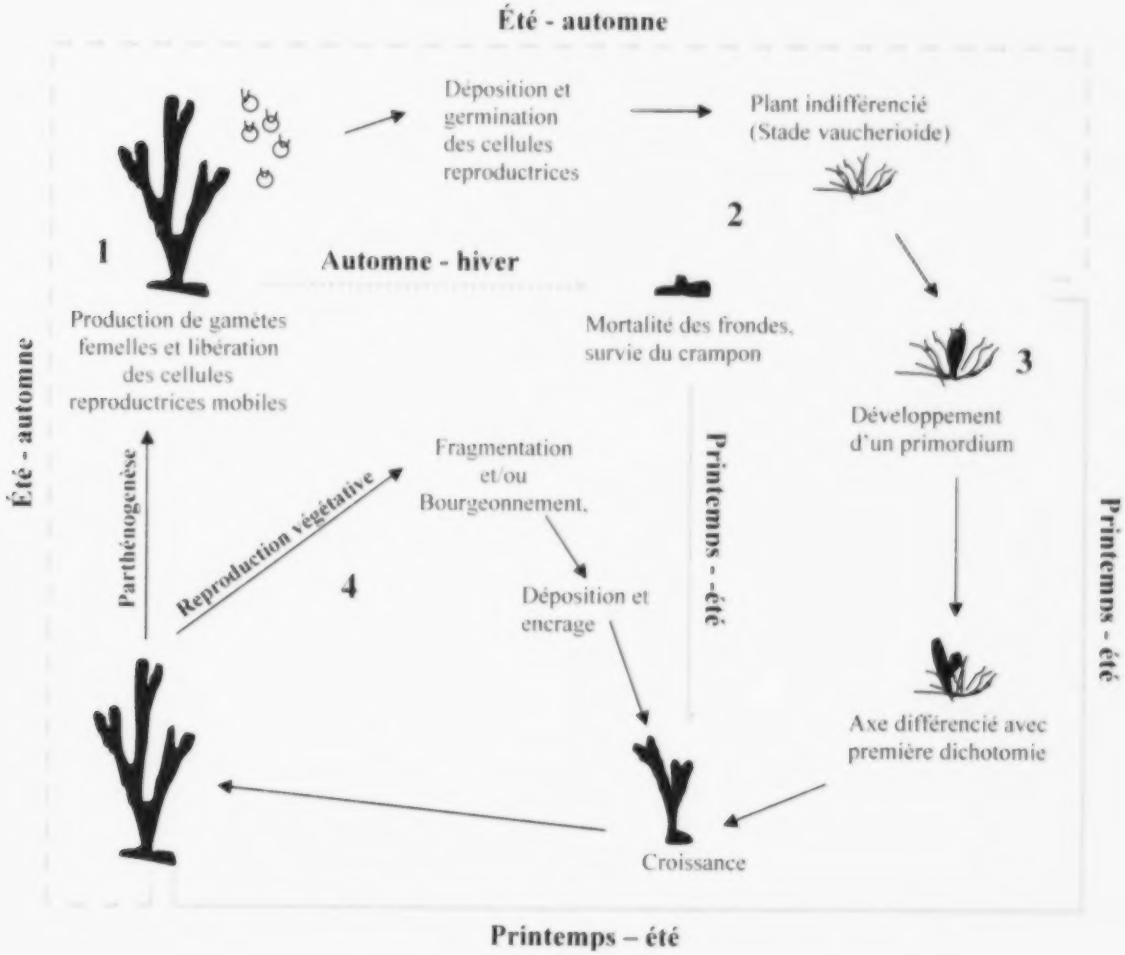

Figure 3. Stations et transects pour *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* effectués aux Îles-de-la-Madeleine en 2004.

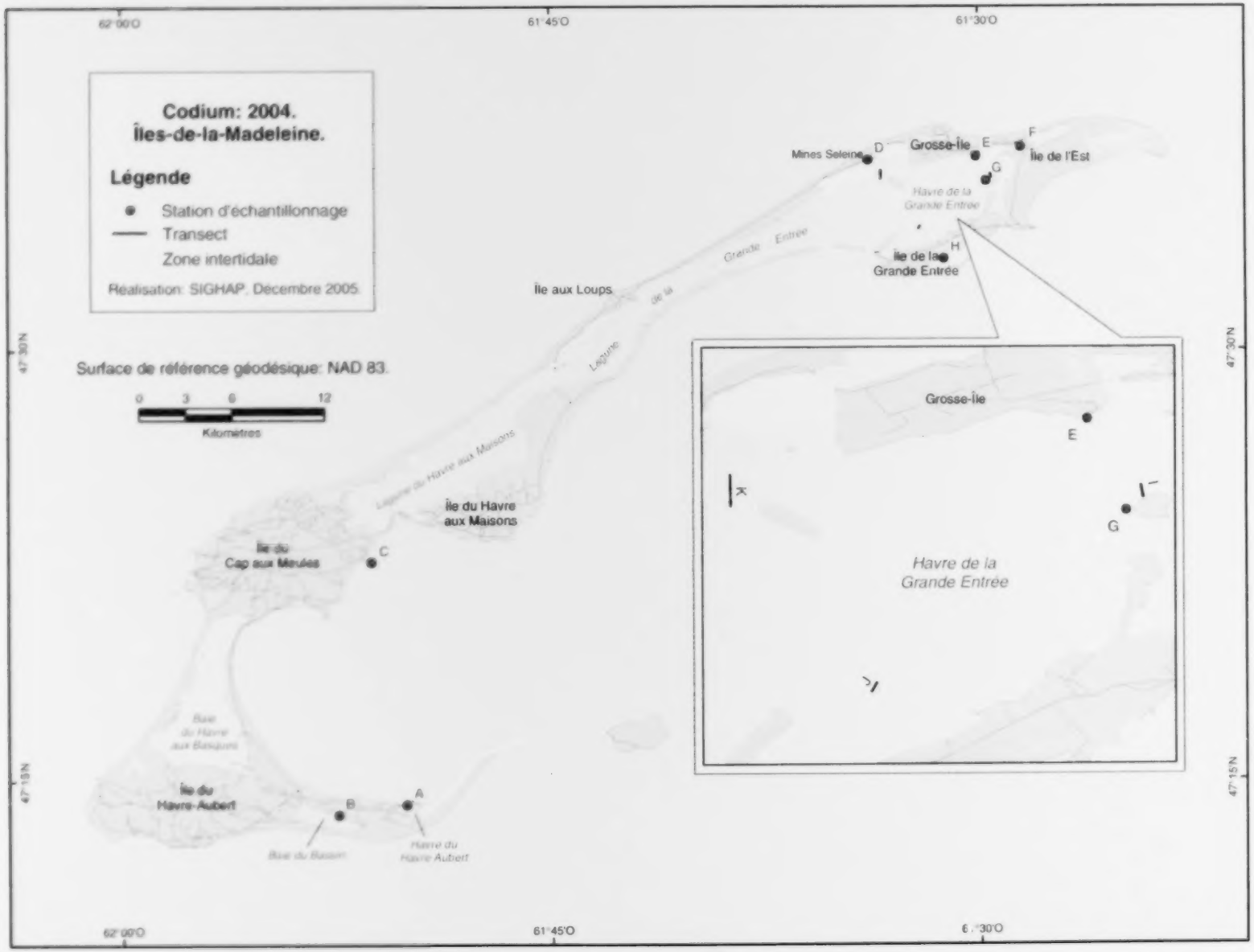

Figure 4. Emplacement des 18 transects effectués en plongée sous marine dans le havre de la Grande Entrée pour *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* aux Îles-de-la-Madeleine en 2005.

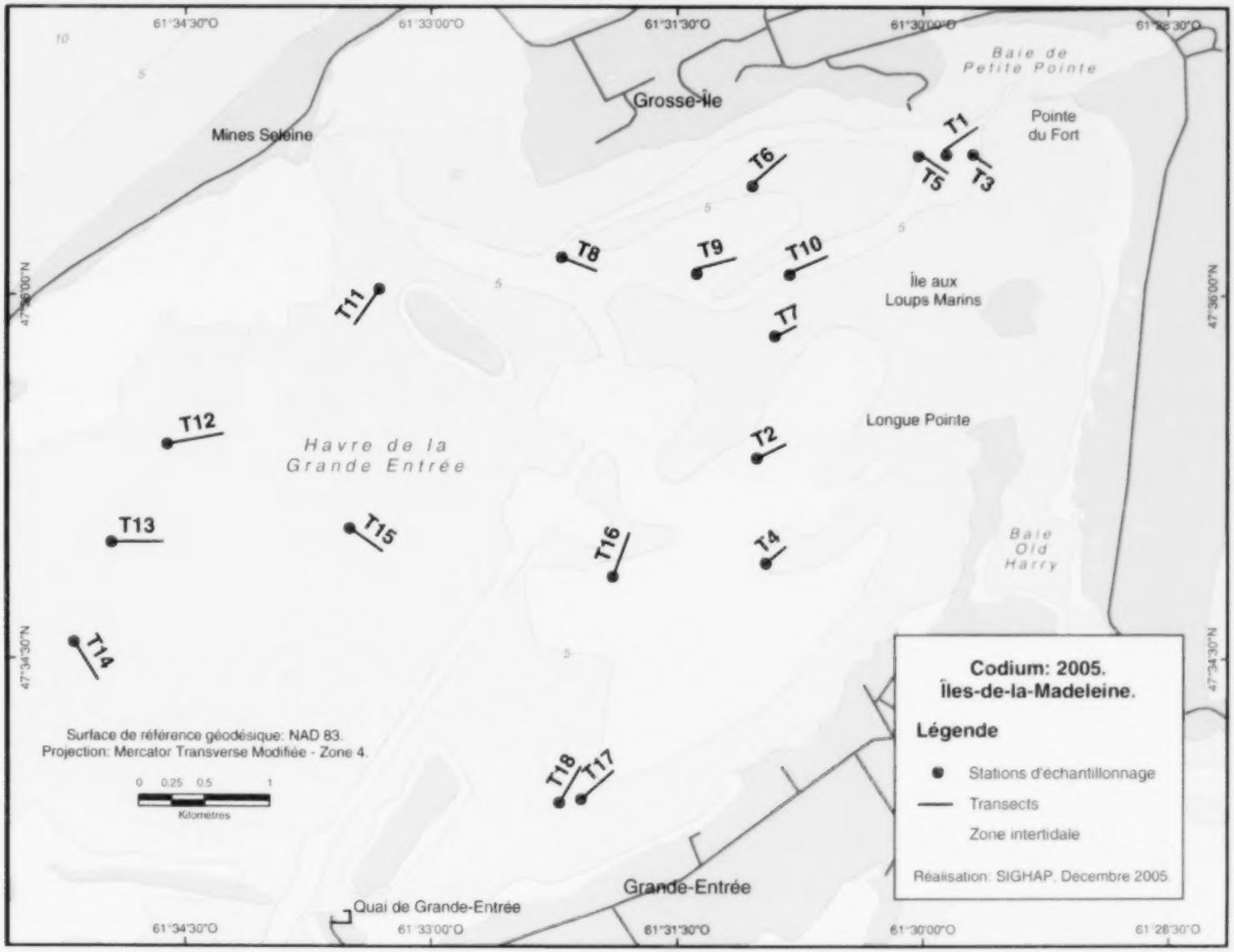

Figure 5. Emplacement des sept transects effectués pour *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* dans la baie Clarke et la baie Old Harry aux Îles-de-la-Madeleine en 2005.

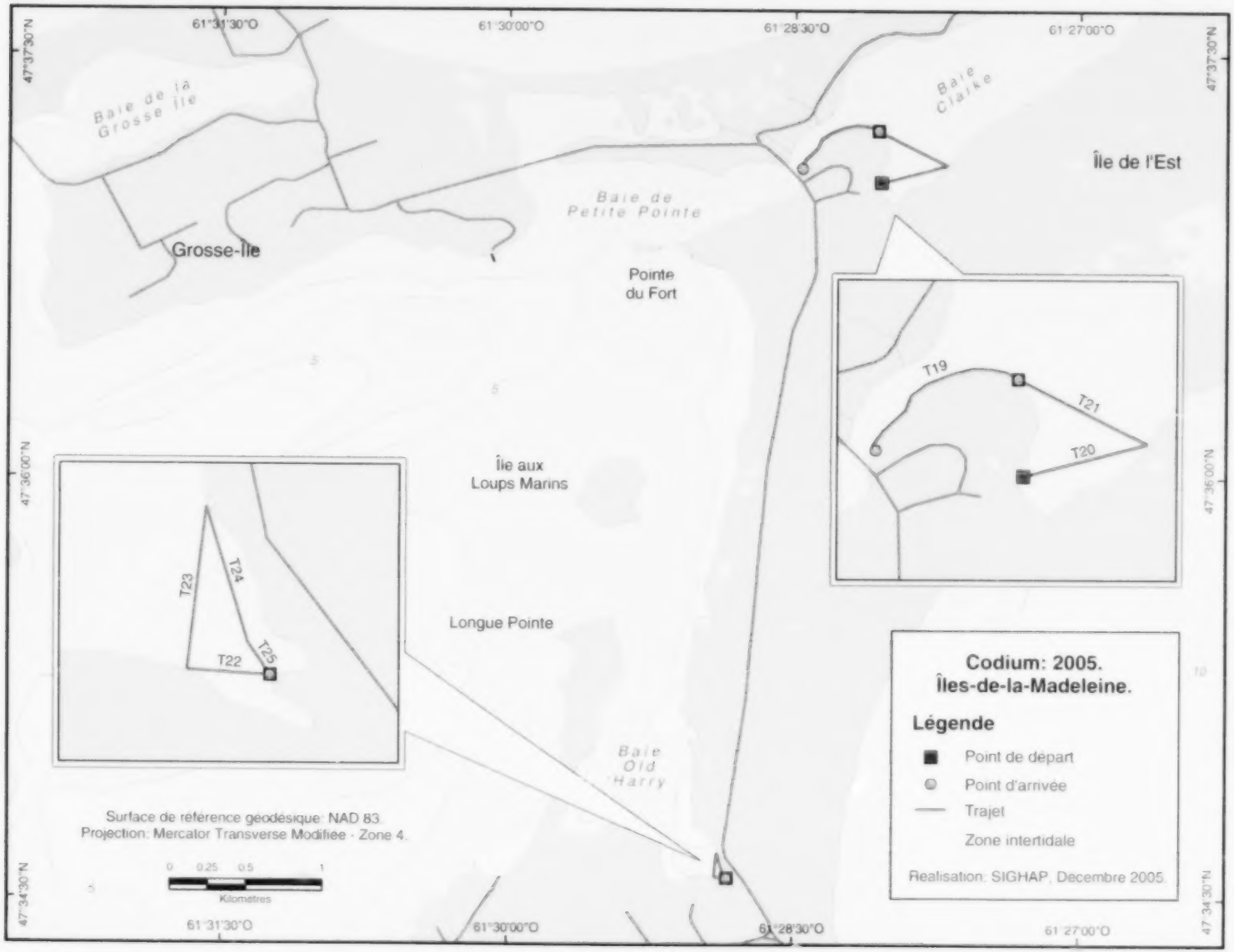

Figure 6. Stations d'échantillonnage pour *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* effectuées dans la baie Old Harry aux Îles-de-la-Madeleine en 2005.

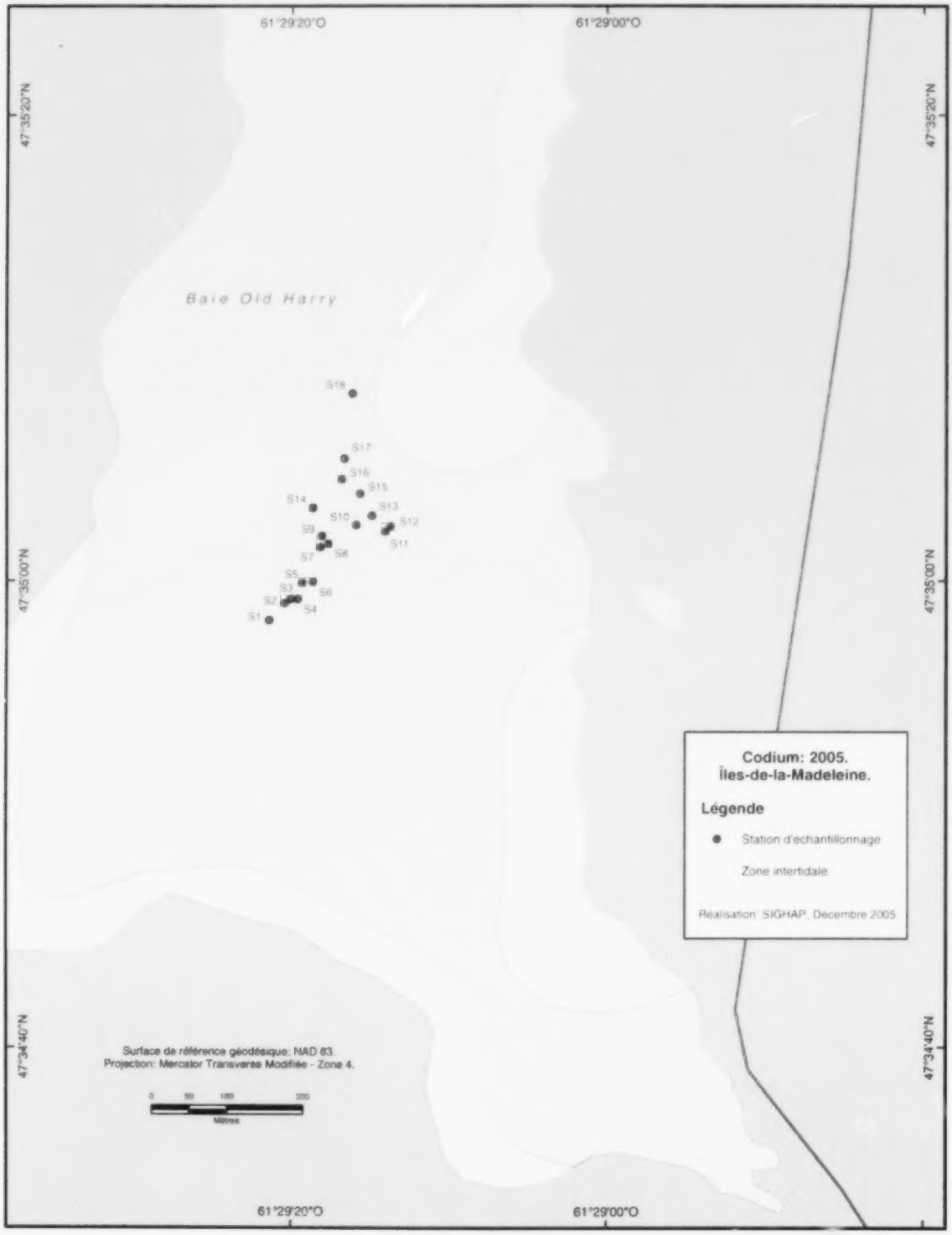

Figure 7. Recouvrement moyen (%) par *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* aux stations échantillonnées dans la baie Old Harry aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. Les barres représentent les écarts-types. L'emplacement des stations apparaît à la Figure 6.

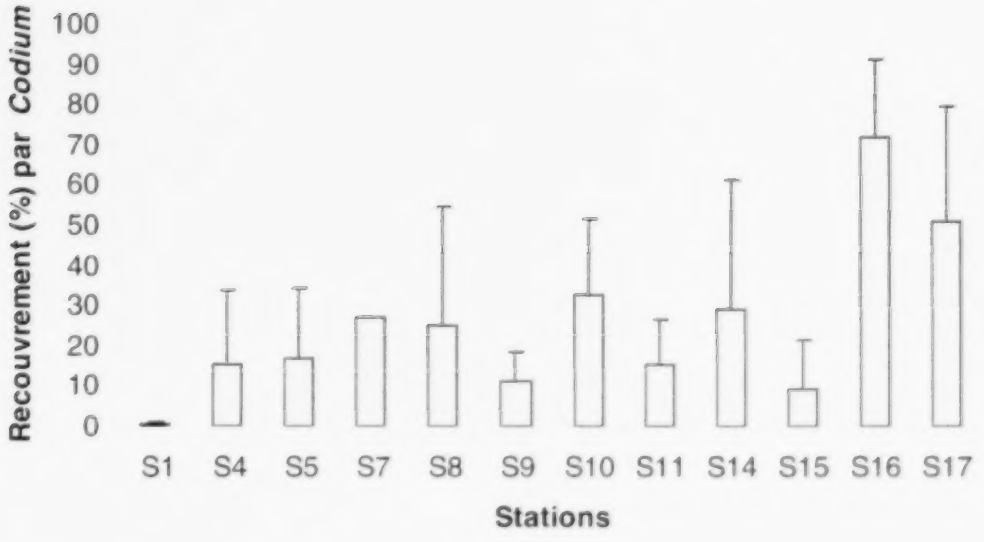

Figure 8. Stations d'échantillonnage pour *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* effectuées dans le havre de la Grande Entrée et la baie de la Grosse-Île aux Îles-de-la-Madeleine en 2005. Le nuage de points présent dans la baie Old Harry correspond aux stations S1 à S18 présentées à la Figure 6.

Figure 9. Emplacement des sept transects littoraux effectués dans la baie Old Harry, la lagune de Havre-aux-Maisons et le Bassin aux Huitres aux Îles-de-la-Madeleine en 2005.

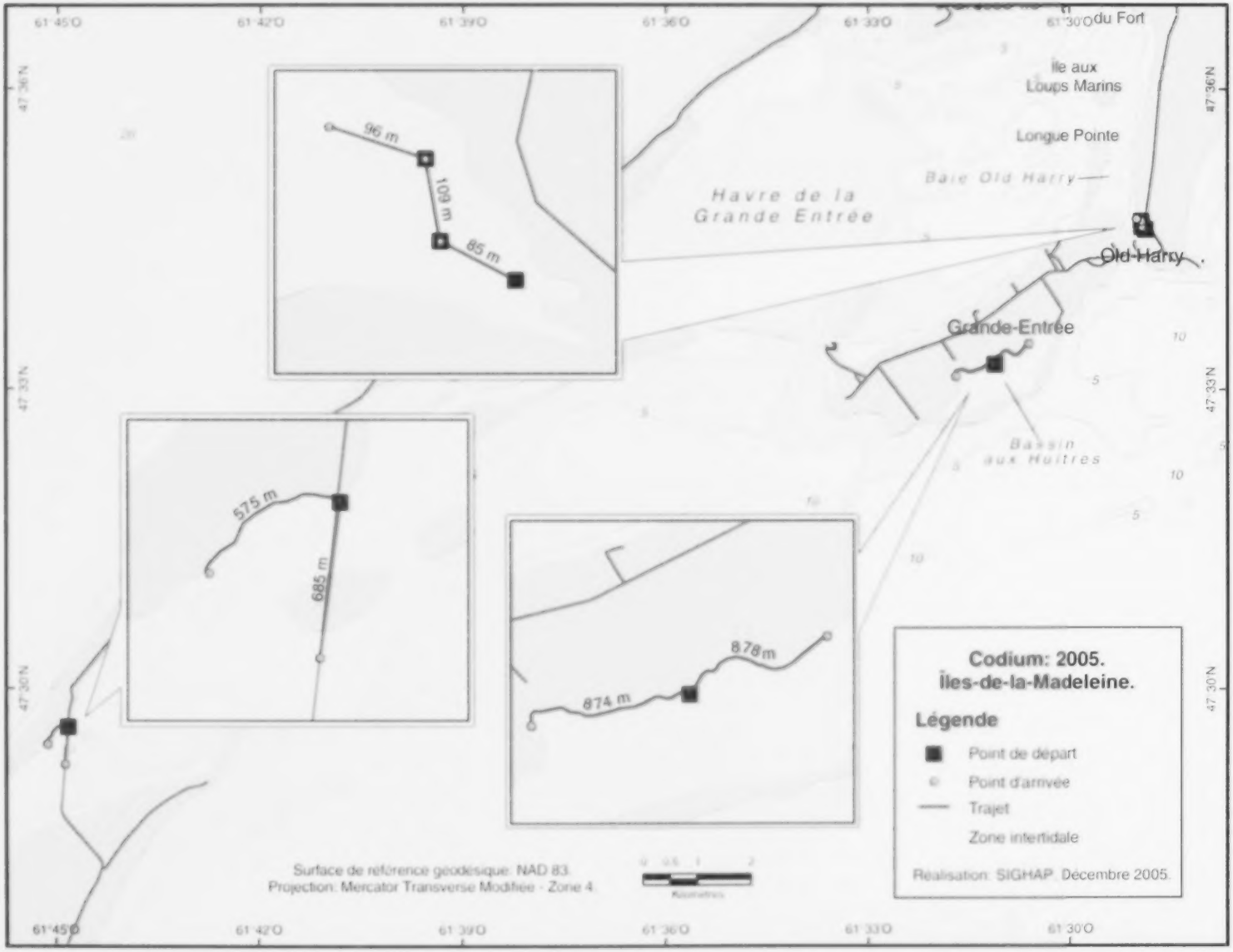

Figure 10. Emplacement des deux transects littoraux pour *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* effectuées au quai de l'Anse à la Cabane et dans la baie du Bassin sur l'île du Havre-Aubert aux Îles-de-la-Madeleine en 2005.